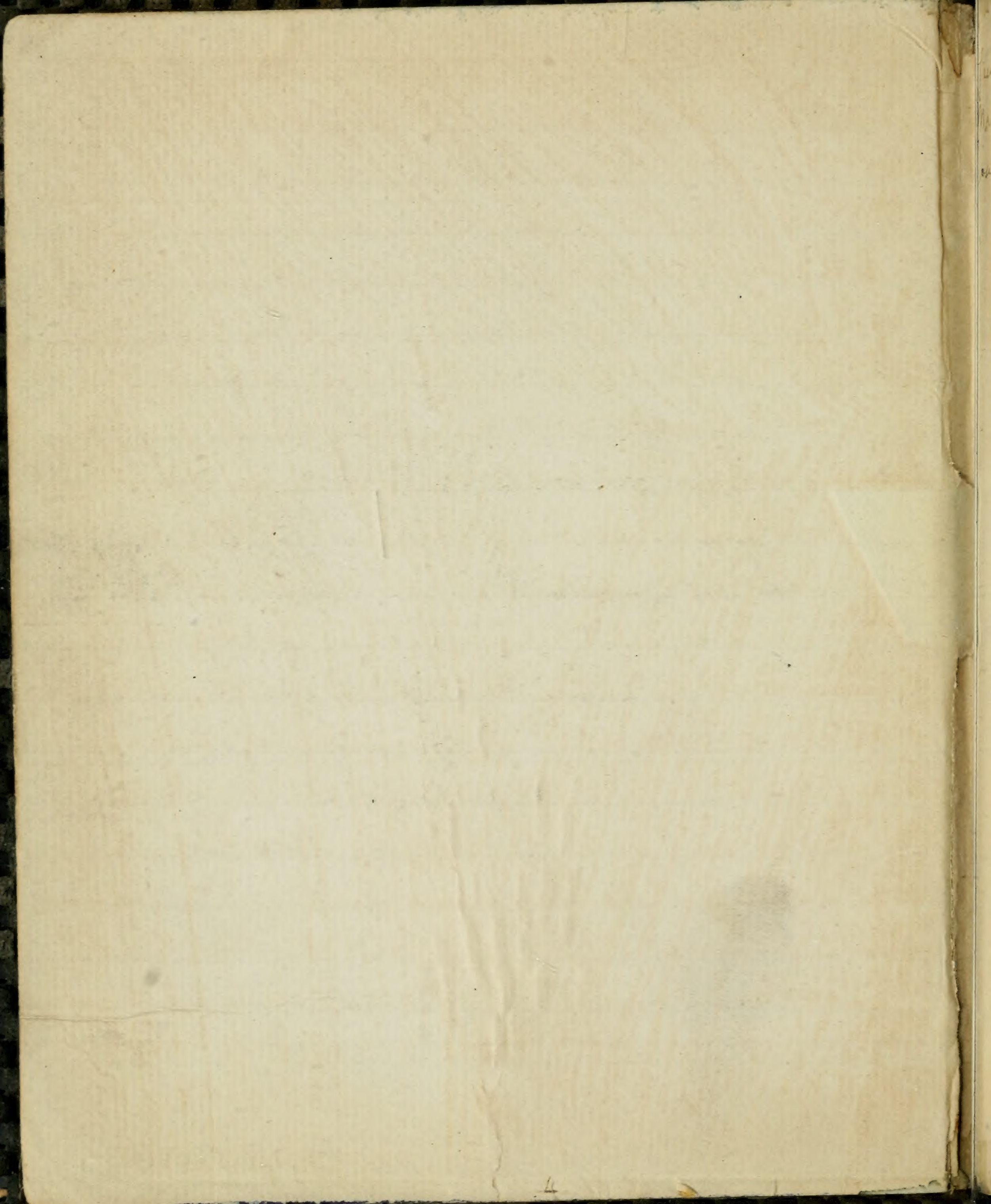




…u sanctifica opus meum ad majorem Dei gloriam.

…aria benedic labori meo.

…oseph adjuva me.

Physique

Scholasticate

Clymouth (1887-1888)

Beaconfield

England

La physique, sans entrer dans l'examen des propriétés spéciales des corps, sans faire de distinctions entre les corps simples et les corps composés étudie seulement les phénomènes qui se produisent sans que la constitution intime des corps éprouve des modifications. Les modifications des corps étudiées en physique n'atteignent ces corps que temporairement; elles prennent fin si la cause qui les produit vient à cesser. En chimie, au contraire on considère les modifications permanentes subsistant même après la disparition de l'agent qui les a déterminées.

Mouvement. Un point matériel est en mouvement quand il occupe successivement dans l'espace des positions successivement variables avec le temps.

On appelle mouvement uniforme le mouvement dans lequel les espaces parcourus dans des temps égaux sont égaux quelque petits que soient ces temps. On appelle vitesse d'un mouvement uniforme l'espace parcouru pendant l'unité de temps.

$$e = Vt \quad (1).$$

Tout mouvement qui n'est pas uniforme est un mouvement varié et parmi les mouvements variés on distingue le mouvement uniformément varié celui dans lequel la vitesse augmente ou diminue de quantités égales dans des temps égaux.

Le mouvement est uniformément accéléré quand la vitesse augmente et uniformément retardé quand elle diminue de quantités égales dans des temps égaux.

Quand un mouvement est varié

on ne peut plus dire que la vitesse est l'espace parcouru pendant l'unité de temps puisque cette vitesse est variable.

Supposons qu'un mobile se meuve sur la droite xy, qu'au bout d'un temps T il était en M et en M' au bout d'un temps T' $(T'>T)$; il est clair que pendant le temps $T'-T$ l'espace parcouru par le mobile est MM'. Si l'on divise l'espace MM' par le temps $T'-T$ le rapport $\frac{MM'}{T'-T}$ sera ce qu'on appelle la vitesse moyenne du mobile pendant le temps $T'-T$, et si on suppose que la différence devienne de plus en plus petite et que T' se rapproche de T de plus en plus quand le temps $T'-T$ sera très petit la limite du rapport entre l'espace parcouru et le temps sera ce qu'on appelle la vitesse du corps au bout du temps T.

Loi 4 $\quad e = a t^2$ (1)

Cherchons la vitesse du mouvement au bout du

x M M' y

temps t. Désignons par $e + \varepsilon$ l'espace parcouru pendant le temps $t + \theta$.

On a $e + \varepsilon = a(t+\theta)^2$ (2).

Retranchant (1) de (2) il vient

$\varepsilon = 2at\theta + a\theta^2$; d'où, divisant par θ

$$\frac{\varepsilon}{\theta} = 2at + a\theta.$$

Comme on cherche la vitesse il faut supposer que le mouvement est uniforme et supposer que le temps θ est extrêmement petit il faut donc prendre la limite du rapport $\frac{\varepsilon}{\theta}$ ce qui donne en faisant dans les 2 membres $\theta = 0$.

$$\text{limite } \frac{\varepsilon}{\theta} = 2at.$$

Et comme cette limite au bout du temps t en la désignant par v on a

$$v = 2at.$$

Lois de la chute des corps.

Dans le vide ils tombent tous avec la même vitesse.

Les espaces parcourus par un corps qui tombe sont proportionnels aux carrés des temps. $e = \frac{1}{2} g t^2$

Les vitesses acquises par un corps qui tombe sont proportionnelles aux temps.

Ces lois se démontrent par la machine d'Atwood et l'appareil Morin (voir dans l'autre cahier) et par le plan incliné

Par le plan incliné.

En étudiant les espaces parcourus par p pendant 1, 2, 3 secondes on trouve les mêmes lois que dans la chute libre, on a toujours

$e = \frac{1}{2} g' t^2$ seulement $g' < g$.

Si le mobile tombait librement dans l'air il serait entraîné par son poids p; tombant sur le plan il n'est sollicité que par une force composante parallèle au mouvement

et qui est égal à $p \sin \alpha$. Dans le 1er cas l'espace parcouru pendant 1 seconde était $\frac{g}{2}$ dans le 2e il est $\frac{g'}{2}$.

On a $\frac{g'}{g} = \sin\alpha = \frac{p \sin\alpha}{p}$: les accélérations sont proportionnelles aux forces qui produisent le mouvement.

Supposons qu'un mobile soit soumis successivement à l'effet d'un poids P et de forces quelconques P', P'' il prendra des mouvements représentées par les formules précédentes et dont l'accélération sera

$$\frac{P}{g} = \frac{P'}{g'} = \frac{P''}{g''} = m$$

c'est à dire que le rapport de la force qui agit sur un corps à l'intensité qu'elle produit est une quantité constante qui peut servir à le caractériser et qu'on nomme sa masse.

Problème.

1 Un corps tombe sans vitesse initiale

d'une hauteur h placé au dessus du sol ; quelle sera sa V en arrivant sur le sol ?

On aura $e = h = \frac{gt^2}{2}$ (1)

$v = gt$ (2)

On en tire $v^2 = 2gh$. $V = \sqrt{2gh}$.

2° Un corps tombe d'une hauteur h avec une vitesse initiale V_0 quelle sera sa V en arrivant sur le sol ?

On aura $V = V_0 + gt$ (1)

$e = V_0 t + \frac{gt^2}{2}$ (2)

de (1) on tire $t = \frac{V - V_0}{g}$. Portant dans (2)

$$e = \frac{V_0(V-V_0)}{g} + \frac{1}{2g}(V-V_0)^2 = \frac{2V_0(V-V_0) + (V-V_0)^2}{2g}$$

$$= \frac{V^2 - V_0^2}{2g}$$

ainsi quand le corps arrivera sur le sol l'espace parcouru sera $e = \frac{V^2 - V_0^2}{2g}$

$h = \frac{V^2 - V_0^2}{2g}$

d'où $2gh = V^2 - V_0^2$

d'où $V = \sqrt{V_0^2 + 2gh}$.

3° Un corps est lancé verticalement de bas en haut avec une vitesse initiale V_0. Trouver

sur quand il retombera sur le sol il aura la même vitesse que lorsqu'il s'est élevé. Or, dans ce cas

$$v = v_0 - gt. \quad (1)$$

$$e = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (2)$$

Cherchons d'abord la durée de l'ascension; il est clair que quand le corps s'arrêtera V sera égal à 0; par conséquent d'après (1) la durée de l'ascension sera donnée par

$$0 = v_0 - gt. \quad t = \frac{v_0}{g} \quad (3).$$

2°. Pour avoir la hauteur h de l'ascension il suffit de remplacer e par h et t par $\frac{v_0}{g}$ ce qui donne

$$h = v_0\left(\frac{v_0}{g}\right) - \frac{g}{2} \times \frac{v_0^2}{g^2} = \frac{v_0^2}{2g}.$$

Or, on a vu précédemment que quand un corps tombe d'une hauteur h sa vitesse en arrivant au sol est donnée par la formule $v = \sqrt{2gh}$. Remplaçant ici h par $\frac{v_0^2}{2g}$ il vient $V = \sqrt{2g \times \frac{v_0^2}{2g}} = v_0$

Donc en retombant et en arrivant sur le

sol le corps avec la même vitesse qu'au moment où il s'est élevé. Il est facile de faire voir que la durée de la descente est égale à la durée de l'ascension. En effet, pour avoir le temps de la chute il faut prendre la formule $h = \frac{gt^2}{2}$.

et comme $h = \frac{v_0^2}{2g}$ on a $\frac{v_0^2}{2g} = \frac{gt^2}{2}$ ou $v_0^2 = g^2t^2$

et $t = \frac{v_0}{g}$ (4)

et comme t a la même valeur dans (3) et (4) il s'ensuit que les deux durées sont égales.

Si le corps tombe sur un plan incliné faisant un angle α avec l'horizon on a

$$v = g \sin \alpha \, t \qquad e = \frac{g \sin \alpha}{2} t^2$$

Quand le mobile de A arrive en B il a parcouru $AB = \frac{h}{\sin \alpha}$. Si l'on remplace e par cette valeur et qu'on résolve la 2e équation par rapport à t on a $t = \frac{\sqrt{2gh}}{g \sin \alpha}$. $v = \sqrt{2gh}$.

Projectiles. Supposons un projectile lancé suivant OT avec une vitesse initiale $= a$. Soumis à 2 causes de mouvement, la vitesse a été décomposée en 2 : l'une horiz. $= a \cos$ l'autre verticale

la pesanteur agit de haut en bas en lui communiquant à la fin de l'instant une vitesse gt.

On a $\quad v_1 = a\cos\alpha \quad v_2 = a\sin\alpha - gt$

pour les vitesses et pour les coordonnées. Pour les abscisses on aura

$$x = at\cos\alpha,\ y = at\sin\alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

Éliminant t on a l'équation de la trajectoire suivie par le mobile

$$y = x\,tg\,\alpha - \frac{g}{2a^2\cos^2\alpha}\,x^2$$

Remplaçant a^2 par $2gh$, h étant la hauteur à laquelle arriverait le mobile lancé verticalement avec sa vitesse a on a

$$y = x\,tg\,a - \frac{x^2}{4h\cos^2\alpha}.$$

Les projectiles lancés obliquement décrivent donc une portion de parabole. Et leur chemin se compose de 2 parties l'une ascendante l'autre descendante symétriques par rapport à l'axe vertical de la parabole

Si $y = 0$ on a $x = 2h\sin 2\alpha$ pour l'amplitude

du pt c'est-à-dire pour la distance parcourue OM. OM est maximum quand α = 45. OM est proportionnel à h c.a.d au carré de la vitesse. La hauteur maximum correspondante aux [illegible] de OM. Faisons $x = h \sin 2\alpha$ $y = h \sin^2 \alpha$. La hauteur croît avec α. Elle = h pour α = 90. [illegible] dans le cas du mobile lancé de bas en haut [illegible]. [illegible] à M au bout d'un temps double de celui pour aller à P puisque x est proportionnel à t. Il met le même temps pour monter et pour descendre temps = $\frac{h \sin \alpha}{g}$.

Pendule. On appelle pendule un corps qui peut osciller et tourner autour d'un point fixe.

En B le pt est immobile [illegible] que la sphère. Si on la porte en C elle se compose en 2 forces l'une CP'' détruite l'autre CP' qui la ramène vers B. A B cette force est nulle. Mais la sphère a une vitesse acquise. Elle continue sa marche jusqu'en C' et retourne. Elle a donc un [illegible]

oscillatoire qui ne devrait jamais s'arrêter s'il n'était pour le frottement et autres causes. Dans ce cas (pendule simple) la durée d'une oscillation est

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Admettons que l'angle soit assez petit pour que les arcs $CB = a$ et $EB = x$ se confondent avec leurs cordes. Donc

$$BD = \frac{\overline{CB}^2}{2OB} = \frac{a^2}{2l} \quad BF = \frac{\overline{EB}^2}{2l} = \frac{x^2}{2l}$$

$$DF = BD - BF = \frac{a^2 - x^2}{2l}$$ La vitesse acquise sera

$$v = \sqrt{2g\,DF} = \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)}$$

Développons CBC' en une ligne droite $CBC' = 2a$; décrivons CMC' et supposons un mobile la parcourant avec une vitesse constante $a\sqrt{\frac{g}{l}}$; le temps qu'il mettra pour passer de C en C'

$$= \frac{\pi a}{a\sqrt{\frac{g}{l}}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Arrivé en M sa V se décompose en 2 l'une V' l'autre V''. Celle-ci sera

$$a\sqrt{\frac{g}{l}}\sin EBM = a\sqrt{\frac{g}{l}}\,\frac{\sqrt{MB^2-EB^2}}{MB}$$
$$= \sqrt{\frac{g}{l}(a^2-x^2)}$$

elle sera la même que celle du pendule en E. Donc I parcourra CC' dans le même temps que le mobile la circonférence CMC'.

Ce temps $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Avec cela on peut trouver g. On ne peut trouver g par la machine d'Atwood. On a bien, en vérité

$$\frac{g'}{g} = \frac{p}{2P+p} \quad g' \text{ étant égal à } 2a$$

d'où $g = 2a\left(\frac{(2P+p)}{p}\right)$. Mais a n'est pas déterminé exactement.

g varie avec l'altitude $\frac{g'}{g} = \frac{r^2}{(r+h)^2}$

$$g' = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$$

Identité de la pesanteur et de l'attraction universelle.

[illegible] les lois du mouvement [illegible] un cercle.

[illegible] décrire un cercle [illegible]

[illegible]

l'origine A avec une vitesse v dirigée
suivant AB. au bout d'un temps infiniment petit t il est arrivé en M. s'il n'a pas
suivi la direction ABC c'est qu'il a été
sollicité [illegible] qui lui aurait
fait parcourir AD pendant que sa vitesse
initiale lui aurait fait parcourir AF.

Donc $AD = \frac{1}{2} f t^2$ (f = accélération.

$AF = vt$

mais $\overline{AF}^2 = 2R \times AD$. d'où [illegible]

$f = \frac{v^2}{R}$. f est exprimé en mètres

c'est [illegible] la force qui sollicite le
[illegible] en kilos [illegible]

$F = \frac{mv^2}{R}$ Pendant le mouvement
le fil tire donc le mobile vers le
centre avec une force $\frac{mv^2}{R}$ force centripète ou
attraction. Le fil est tendu il tire le
[illegible] force égale et opposée
agissant en O. (force centrifuge.

Si on considère le temps $= 2\pi R$ prenons un

au temps T avec v zone..., étant dû est égal à vT on a

$$= \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cdot F = \frac{4\pi^2 R m}{T^2}$$

Lois de l'attraction.

Soit O le centre du soleil, A celui d'une planète à un certain mouvement. Pendant un temps [illegible] A [illegible] ...avait sur elle devant temps égal elle décrirait BC. Mais elle décrit BD. elle est donc soumise à une force qui agit sur elle à chaque instant pour la faire dévier. Il faut donc en trouver la direction. D'après Kepler on a OBD = OAB = OBC les triangles OBD, OBC étant égaux leurs sommets D, C sont sur une ligne DC parallèle à OB. achevant le parallélogramme BCDE [illegible] on voit pour parcourir BD a été soumise à [illegible] infinie [illegible]

rait, ait franchir BF. Cette force est dirigée vers le centre de l'orbite. C'est l'attraction.

Supposons que l'excentricité des orbites planétaires soit nulle, que les courbes décrites sont des cercles dont le Soleil occupe le centre. Les secteurs décrits dans des temps égaux devant être égaux, [illegible] révolution. On tombe dans le cas du mouvement circulaire uniforme et l'attraction est sa force centrale.

Mais $G = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$. R = dist de la planète au soleil, T = temps d'une révolution.

Selon Kepler $\frac{T^2}{R^3}$ = const.

Posons $\alpha = \frac{T^2}{R^3}$, multipliant cette équation par la précédente on a

$$G = \frac{4\pi^2}{K} \times \frac{1}{R^2}$$

Donc l'accélération de la force attractive du soleil est la même pour toutes les planètes, en raison inverse du carré de la distance.

Si on veut avoir la force motrice A, on multiplie par G la masse m de la planète A = m G. Et comme G est la somme des attractions de tous les éléments du soleil, [illegible] M, [illegible]

$$G = \frac{M}{R^2} \quad A = \frac{mM}{R^2} \quad \text{[illegible]}$$

[illegible] unité de masse sur unité de masse à unité de distance. Donc l'attraction est proportionnelle au produit des masses en présence et en raison inverse du carré des distances.

Identité de la pesanteur et de l'attraction [illegible]. La distance R des centres de la terre et de la lune = 60 r (r = rayon moyen de la terre) [illegible] astronomiquement [illegible] [illegible]

ce qui fait que l'attraction de la terrer à lune est beaucoup plus grand que celle du soleil et qu'on peut la considérer comme l'action unique à laquelle la lune soit soumise. La lune décrit une ellipse autour de la terre, sensiblement circulaire ... comme aussi les deux autres expériences

L'accélération g de la pesanteur est le résultat de l'attraction de la masse terrestre agissant à une distance du centre égale au rayon r de la terre. Or le centre de la lune étant à la distance $R = 60r$ l'accélération de la pesanteur doit y être ... égale à $\frac{g}{60^2}$. Mais cette accélération est ... par $\frac{4\pi^2}{T^2}R$

d'où $\frac{g}{60^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$. On en tire $g = 9^m.7$.

ce qui est avec autant d'exactitude qu'on peut ... la valeur de l'accélération de la pesanteur. Voir dans la Cosmographie les expériences de Cavendish.

Action Réaction. Choc des Corps

Non seulement le boulet attire la terre, mais la terre aussi attire le boulet c'est une loi générale qu'à toute action correspond une réaction. L'expérience le démontre. Ressort. Boulet de Canon. Cable chargé de poids, mouvement d'un corps sur un cercle. Donc

Quand un point matériel A est sollicité par une force émanant d'un point matériel B, ce dernier est également soumis à l'action d'une force égale et contraire à la première.

Soient 2 masses m m' des sphères A et B sollicitées par 2 forces constantes égales et opposées appliquées à leurs centres et dirigées l'une suivant AB l'autre suivant BA. ces deux prendront un mouvement uniformément accéléré et les accélérations seront $G = \frac{F}{m}$; $G' = \frac{F}{m'}$ d'où les vitesses, au bout de temps égaux seront en raison inverse des masses. Les équa.

m

A

A'

C

B'

B

m'

tions précédentes on tire

$m\,G = m'\,G'$; d'où les quantités de mouvement sont égales pour les deux corps.

Soit C le centre de gravité à l'origine du mouvement; après un temps t les sphères sont venues se placer l'une en A' l'autre en B'. Le centre de gravité n'a pas changé.

On a en effet

$$\frac{AC}{CB} = \frac{m'}{m}.$$

$$AA' = \frac{Gt^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}\,;\quad BB' = \frac{G't^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m'},$$

donc $\dfrac{AA'}{BB'} = \dfrac{m'}{m}$

donc $\dfrac{AC}{CB} = \dfrac{AA'}{BB'} = \dfrac{A'C}{CB'} = \dfrac{m'}{m}$. C.Q.F.D.

Si les deux masses m et m' ont eu les vitesses v, v' dirigées de A vers B, et que $v < v'$ les corps se rencontreront, se fusseront et une force réciproque agira servira pour augmenter la V. de B d'une quantité x' et pour diminuer de x celle de A; elles seront en raison inverse des masses et on aura

$mx = m'x'$ si les corps ne sont pas élastiques ils ne seront de formes et continueront leur marche avec une vitesse commune $v - x = v' + x'$. On en tire x et x' ainsi que la vitesse commune les masses réunies

$$\frac{mv + m'v'}{m + m'}$$ Si v v' sont de directions opposées on change $+mm'$ en $-mm'$.

S'ils sont élastiques ils se comprimeront au moment du choc, reprendront leur forme. La masse m après avoir perdu la vitesse x recevra en sens inverse la vitesse x sa vitesse sera $v - 2x$. Celle de la masse m' sera $v' + 2x'$. On en tire $\frac{2m'v' + v(m - m')}{m + m'}$. $\frac{2mv + v'(m' - m)}{m + m'}$ si les masses sont égales (transmission de mouv.)

Allongement Traction $\frac{l}{} = \frac{1}{Q} \frac{Pl}{s}$ section P poids ...

Angle de Torsion $\omega = T \frac{pl}{r^4}$ T coeff.

Flexion $= \frac{pl^3}{Fbc^3}$ c = épaiss. ... b largeur.

Hydrostatique

Les liquides se distinguent des solides par une grande mobilité dans leurs molécules qui peuvent glisser facilt les unes sur les autres.

Nous allons chercher les lois de l'équilibre d'une masse liquide soumise à la seule action de la pesanteur. Pour cela, nous emprunterons à l'expérience quelques faits très simples. Considérons d'abord un liquide enfermé de toutes parts dans une enveloppe; l'expérience montre que si l'on vient à percer cette enveloppe un orifice et si l'on ferme cette ouverture par une paroi mobile, par ex la base d'un piston, il faut, pour maintenir cette paroi en équilibre exercer une certaine pression déterminée P. Une force égale et directement opposée à P est ce qu'on appelle la

pression du liquide sur la paroi.

Supposons qu'on pratique une ouverture A'B' dans l'enveloppe et qu'on la ferme aussi par la base mobile d'un piston, si on exerce une pression P sur le piston AB on constate qu'il faut exercer en A'B' une pression P' en général différente de P. Il suit de là que l'effort exercé sur AB se transmet par l'intermédiaire du liquide à une portion quelconque de l'enveloppe. Si on considère un élément de paroi très petit, pour maintenir en équilibre cet élément supposé mobile il faut exercer sur cet élément une pression p si on désigne la surface de cet élément $\frac{p}{s}$ représente la pression moyenne sur l'unité de surface. Si l'on imagine que la surface de l'élément considéré tende vers 0 autour d'un point déterminé, ce rapport peut tendre vers une limite qu'on appelle la pression en ce point.

On peut définir d'une manière analogue ce qu'on doit entendre par la pression des éléments pris dans l'intérieur d'un liquide en équilibre, ou ce qu'on doit entendre par la pression en un point intérieur d'un liquide. Par cet élément faisons passer une surface qui, prolongée, partage le liquide en 2 parties et considérons cette surface comme représentant une portion d'enveloppe du liquide renfermé dans l'un des deux compartiments. Le liquide exerce sur l'élément considéré une certaine pression par le liquide qui se trouve du côté opposé s'exerce une pression égale et contraire ; ces 2 pressions égales et contraires maintiennent l'élément en équilibre. On attribue une pression au point O de l'élément la limite de la pression vers laquelle tend le rapport $\frac{p}{s}$, s désignant la surface de cet élément lorsque cet élément décroît indéfiniment autour du point O.

Nous admettrons que si l'on désigne par p et p' les pressions exercées par le liquide sur les bases AB, A'B' d'un filet cylindrique qq', pris dans l'intérieur d'une masse de liquide en équilibre et si l'on appelle ω et ω' les surfaces de ces éléments et d la distance verticale des centres de gravité des 2 éléments, δ le poids de l'unité de volume du liquide, on a la relation

$$\frac{p'}{\omega'} = \frac{p}{\omega} + \delta d \quad (1)$$

ce qui veut dire que la pression sur l'unité de surface de ω' = la pression sur l'unité de surface de AB augmentée du poids d'un volume de liquide ayant pour base l'unité de surface et pour hauteur la distance verticale des centres de gravité des deux éléments.

De la formule (1) on déduit plusieurs conséquences.

1° La pression sur un élément est indé

Indépendante des orientations de l'élément et en effet, quelle que soit la direction de l'élément, la pression qu'on tire de l'équation précédente est toujours la même.

2° Si l'on considère 2 éléments dont les centres de gravité soient sur un même plan horiz. on a $z = 0$; par suite $z\,d = 0$ et la formule devient $\frac{p'}{\omega'} = \frac{p}{\omega}$ c.à.d. que la pression en 2 points d'un plan horiz. pris dans l'intérieur d'un liquide en équilibre est la même.

3 Si avec $z = 0$ on fait $\omega = \omega'$ on a $p' = p$; donc 2 éléments égaux pris sur 1 même plan horiz. et dans l'intérieur d'un liquide en équilibre supportent la même pression.

4 L'équation (1) est la traduction du principe dit principe de Pascal de la transmission des pressions; la pression sur

l'élément ω se transmet sur l'élément ω';
mais ces 2 pressions ne sont pas les mêmes comme l'indique d'ailleurs la formule; elles ne sont les mêmes qu'autant que les centres de gravité des 2 éléments sont sur un même plan horiz.

5° [illegible] formule pour surface libre d'un liquide en équilibre doit être horiz. En effet soit SS' la surface libre d'1 liquide. Menons à l'intérieur d'1 liquide en équilibre un plan horiz. AB; prenons sur ce plan 2 éléments ω et ω'; ces 2 éléments étant sur un même plan horiz. doivent supporter la même pression, et concevons des cylindres verticaux ayant pour base les 2 éléments: les pressions supportées par les bases supérieures des cylindres sont nulles; par conséquent si l'on désigne par h et h' les hauteurs des cylindres, d'après la formule on aura $\frac{p}{\omega} = \delta h$ et $\frac{p}{\omega'} = \delta h'$.

D'où z'd = z'd et enfin z = z' ce qui montre que les distances des axes où niveaux des filets cylindriques qu'on vient de considérer à un plan horiz. fixe sont les mêmes; par suite la surface libre du liquide est le lieu géométrique des points situés à égale distance d'un plan horiz.; donc cette surface libre est elle-même horiz.

On peut donner à ce principe la démonstration suivante: supposons que la surface d'un liquide en équilibre dans un vase soit MN; considérons une goutte de liquide A; cette goutte de liquide est soumise à l'action de la pesanteur et a son poids représenté par la verticale AP. Décomposons cette force en 2; l'une AB perpendiculaire à l'élément A et l'autre AC dirigée tangentiellement à cet élément. La force AB se trouve détruite par la résistance l'impénétrabilité

du liquide) et la force AC agit sur le [illegible] qu'dans ces conditions, la goutte 4 obéira à la force AC descendra vers le point N du liquide; celui-ci ne pourra donc être en équilibre que si sa surface devient horiz car alors la force AC devient nulle.

La formule $\frac{p'}{\omega'} = \frac{p}{\omega} + zd$ s'applique à des [illegible] planes qcq et en traitant la question par le calcul on arrive à ce résultat que la pression moyenne supportée par une paroi plane qcq est égale à la pression moyenne supportée par une autre paroi horizontale dans le liquide augmentée du poids d'1 colonne de liquide ayant pour base l'unité de surface et pour hauteur la distance des centres de gravité de 2 parois. Si ces 2 parois ont leur centre de gravité sur un même plan horiz. les pressions moyennes exercées sur l'unité de surface des 2 parois dont les centres

de gravité sont dans un même plan horiz. sont les mêmes. Si les 2 parois ont la même surface les 2 pressions sont encore les mêmes.

On conclut aussi comment il faut entendre le principe de Pascal quand il s'agit de parois planes finies. Le principe dit de la transmission des pressions n'est vrai que si les centres de gravité des parois sur lesquelles s'exerce la pression sont situés sur un même plan horiz. et si l'on veut déterminer la pression supportée par un point on trouve qu'elle égale le poids d'une colonne de liquide qui aurait pour base la paroi et pour hauteur la distance des centres de gravité de cette paroi au niveau du liquide. C'est aussi la pression exercée sur le fond d'un vase, etc. lorsque nous supposons la paroi une inclinaison quelconque.

Ce résultat fait voir que la pression ne dépend pas de la masse plus ou moins grande du liquide contenu dans le vase mais uniquement de la surface de la paroi pressée et de la distance du centre de gravité de cette paroi au niveau des liquides.
Ce résultat peut être démontré expérimentalement par les appareils de Haldat ~~et de Masson~~.

L'appareil de Haldat se compose d'un tube deux fois recourbé MNPQ qui s'engage [illegible]

Paradoxe hydrostatique.

Il résulte de ce [illegible] que la pression sur le fond du vase ne dépend pas de la forme du vase ni par conséquent de la quantité de liquide; elle dépend seulement de la forme de la base et de la hauteur du liquide au dessus du fond. Et on a démontré que la pression sur le fond est le poids d'une colonne cylindrique de liquide ayant pour base le fond du vase et pour hauteur la distance de ce fond à la [illegible] du liquide. Cette pression n'est pas égale au poids du liquide contenu; c'est là ce qu'on appelle le paradoxe hydrostatique. Mais si l'on suppose qu'on a 3 vases de même poids, l'un cylindrique A, l'autre conique B et l'autre ayant la forme C, si ces 3 vases ont même fond [illegible] en mettant dans chacun des vases un

liquide, versez de l'eau à la même hauteur, en les portant sur une balance on trouve que le poids du 1er est > celui des 2 autres et [illegible] aux pressions latérales [illegible] sur les parois latérales.

[illegible] une pression normale à la [illegible] pression qui est [illegible] [illegible]

[illegible] normalement sur [illegible] B à la direction BP et cette [illegible] être décomposée en 2: l'une [illegible] l'autre BF verticale. La force [illegible] d'action sur le plateau de la balance [illegible] avec la force BF qui [illegible] sur le plateau de la balance, et de haut en bas donc dans ce [illegible] doit être > que dans le cas de A

Si on prend C au contraire la pression normale à la paroi a la direction CK cette pression peut se décomposer en 2 l'une CH verticale et l'autre CS horiz. CS n'a pas d'action sur le plateau de la balance tandis que CH agit sur le plateau mais de bas en haut: donc dans le cas du vase C le poids doit être plus faible que dans les 2 autres. Il en est de même pour les pressions latérales. En effet, dans le 1er vase les pressions latérales qui sont perpendiculaires aux parois peuvent se décomposer en 2 l'une horiz. et l'autre est // aux parois. Ces dernières étant dirigées dans le sens de la pesanteur s'ajoutent à la pression verticale sur le fond et être communiquées par l'intermédiaire de la paroi solide au plateau de la balance. Le plateau supporte donc une pression > que celle qui s'exerce directement sur le fond du vase.

sur une paroi faisant un angle aigu
incliné chaque pression diminuerait p
se décompose en pression horiz. f et en une
verticale f' dirigée en sens contraire de
la pesanteur. Donc la pression supportée
par le [illegible] est égale à la diff-
érence entre la pression supportée par le fond
du vase et la résultante des forces F.

Loi de Mariotte.

Les volumes d'une même masse de gaz
et à une même température sont en rai-
son inverse des pressions qu'ils supportent.

$$\frac{V}{V'} = \frac{H'}{H} \text{ d'où } VH = V'H'$$ On peut

donc dire que le volume d'une certaine mas-
se de gaz multiplié par la pression qu'il sup-
porte est un nombre constant. On se sert
[illegible] de la loi [illegible] les
densités des gaz. Si l'on désigne par P le
poids d'une certaine masse de gaz par V

son volume et D sa densité, on aura
d'après ce qu'on vu précédemment, $P=VD$
Si on désigne par V' un nouveau
volume de la même masse de gaz et D' sa
densité on a $P=V'D'$ d'où $VD=V'D'$.

$$\frac{V}{V'}=\frac{D'}{D}.\ \text{Or a aussi}\ \frac{V}{V'}=\frac{H'}{H}.$$

d'où $\frac{D'}{D}=\frac{H'}{H}$. Donc les densités
d'une même masse de gaz à une
même température sont en raison
directe des pressions qu'il supporte.

1° Quand il s'agit de pressions plus
fortes que la pression atmos. on emploie
le tube de Mariotte. Il se compose de
2 branches; la 1re est ouverte la 2e fermée
le tube est fixé sur une planche
verticale sur laquelle on a fixé un
vrai tube qui suit les 2
tubes. On verse du mercure dans l'appareil
en sorte qu'il soit de niveau dans
les 2 branches; pour cela on est obligé

d'incliner les deux branches dans
un sens ou dans l'autre de manière à
faire sortir une certaine quantité
d'air de la partie fermée ou d'y
[illegible] [illegible] [illegible] bulles d'air.
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] en parties d'égale
[illegible] [illegible] les tandis que la
[illegible] [illegible] [illegible] divisée en parties
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] branche [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] d'air dans le vase AP
[illegible] [illegible] [illegible] c.-à-d. [illegible]
[illegible] lorsque cela a lieu, on constate
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] dans [illegible]

sion est égale à la hauteur du baromètre. Or si cela a lieu la pression qui s'exerce sur le gaz et qui se transmet par le mercure dans la seconde courbe à l'atmos. (1 qui agit directement sur la surface du Hg et l'autre qui est représentée par la colonne de Hg au dessus du plan MN. donc quand le volume a été réduit de moitié la pression devient 2 fois plus grande. Si alors on verse du Hg dans la branche ouverte jusqu'à ce que le volume d'air emprisonné soit le $\frac{1}{3}$ de ce qu'il était primitivement (4 divisions) on constate que la hauteur du Hg soulevé dans le grand tube au dessus du plan MN passant par le sommet du Hg dans la branche fermée est de 2 fois la hauteur barométrique; alors la pression est de 3 atmos.; donc

[illegible] le volume est [illegible] 2 fois plus
petit la pression est 2 fois plus grande.

4 Pour démontrer la loi dans les cas des
pressions plus faibles que la pression at-
mosphérique on emploie la <u>cuve profonde.</u>
Elle se compose d'1 tube en ~~[illegible]~~ fermé
à son extrémité et portant à sa partie
inférieure un [illegible] on verse dans l'ap-
pareil [illegible] du Hg [illegible]
milieu du [illegible] le tube
[illegible] le tube en fer et fermé
[illegible] extrémité on met du Hg
[illegible] un petit espace
[illegible] de l'air; on
[illegible] avec le doigt on
[illegible] extrémité
dans [illegible] et on enfonce le
[illegible] le niveau du Hg
[illegible] dans le tube et
[illegible]

cet air était en ce moment là; d'ailleurs le tube est divisé en parties d'égale capacité); il est clair que le volume de l'air qui est emprisonné est alors sous la pression atmos.; cela étant si on soulève le tube on voit 2 choses.

1° le volume de l'air augmente

2° le Hg monte dans le tube au-dessus du niveau de la cuvette.

Cela dit, on soulève le tube, jusqu'à ce que le volume de l'air soit doublé, on constate alors que la hauteur de Hg dans le tube au-dessus du niveau de Hg dans la cuvette est égale à ½ de la pression atmos. donc si H désigne la pression atmos., sa moitié sera $\frac{H}{2}$ et si f désigne la force élastique du gaz en ce moment là, comme cette force élastique augmentée de la colonne de Hg soulevée égale la pression H on a:

$$f + \frac{H}{2} = H. \text{ D'où } f = H - \frac{H}{2} = \frac{H}{2}.$$

Donc, quand le volume du gaz devient double, sa pression est 2 fois plus petite. On soulève alors le tube de façon que le volume soit triple et on constate alors que la hauteur du Hg est les $\frac{2}{3}$ de l'atmos; en raisonnant comme plus haut, pour trouver la force élastique du gaz, on aura

$$f_1 + \frac{2}{3}H = H. \text{ D'où } f_1 = \frac{H}{3};$$

ainsi quand le volume devient triple sa pression devient 3 fois plus petite. En général si le volume devient n fois plus grand, en désignant par f_n la force élastique du gaz on a

$$f_n + \left(\frac{n-1}{n}\right)H = H$$

$$\text{D'où } f_n = H - \left(\frac{n-1}{n}\right)H = \frac{H}{n}.$$

La loi de Mariotte est donc vraie du moins dans les limites des pressions qu'on vient d'indiquer

On a cherché si la loi de Mariotte était encore vraie pour des pressions > 3 atmosphères. Pour cela on a fait un genre nouveau d'expérience

L'appareil de M. Regnault se compose d'une marmite en fer M où l'on comprime de l'eau poussée en V; les 2 tubes l'un A ouvert l'autre B fermé, au lieu d'être placés à côté l'autre de la marmite se trouvent emmanchés du même côté sur un gros tube en fer où se trouve un gros robinet R pour fermer le tube en fer quand on veut lire les hauteurs; la communication avec les marmites cessant, les hauteurs ne varient pas.

Sur le tube B il y a 2 traits de repère a et b et le volume entre ces deux points est $\frac{1}{2}$ de celui entre n et a. On introduit par o' le gaz sur lequel on veut opérer et on s'arrange de façon que le

gaz aura jusqu'en a. Soit V le volume na, on notait la pression P à l'aide du tube ouvert. Cela étant, r étant fermé on fait marcher la pompe 2 et on s'arrange de façon que le volume du gaz soit bn; soit V' ce volume et P' sa pression, si la loi est vraie on doit avoir

$$VP = V'P' ; \text{ ou } \frac{VP}{V'P'} = 1 , \frac{VP}{V'P'} - 1 = 0$$

Cela étant, au moyen de O' on introduit une nouvelle quantité de gaz de façon à faire descendre le mercure en a; on note la nouvelle pression P_1, le volume étant encore V; on continuait de façon que le niveau vînt en b et on devait avoir $\frac{VP_1}{V'P_1'} - 1 = 0$ etc. De la sorte on n'avait jamais à mesurer les volumes V et V' (V' étant à peu près $\frac{1}{2}$ V) et l'on n'a jamais mesuré de volume plus petit que 30 atmos. Regnault a trouvé ainsi que la loi était vraie très approximativement pour un certain

nombre de gaz, mais que pour un certain nombre d'entre eux, l'oxygène par exemple, le volume diminuait plus que ne l'indique la loi de Mariotte tandis que c'était le contraire pour l'hydrogène; d'où celui-ci pouvait être le dernier qu'on pourrait liquéfier.

Manomètres.

Sont des appareils destinés à mesurer les pressions. Un des manomètres qui ont été le plus souvent est le manomètre de Regnault. Composé de 2 tubes en verre placés sur une pièce en fer qui les relie pour des pressions comprises entre 1 et 3 atmosph.; l'un A est ouvert, l'autre B fermé au moyen du robinet R. Si l'intérieur de l'appareil se

Niveau du Hg. Supposons qu'au commencement de l'expérience le niveau du Hg soit le même dans les 2 tubes. Si alors on fait venir de la vapeur d'eau ou un gaz dans le tube B, le niveau descend dans B et monte dans A et la force élastique de la vapeur égale la pression atmos. augmentée de la différence des niveaux. Le robinet à 3 voies est percé d'1 canal qui le traverse de part en part; en outre il existe un 2e canal perpend. au premier. Selon les positions qu'on lui donne, on peut faire écouler le mercure d'une branche, des 2, les faire communiquer.

L'inconvénient que présente le manomètre à air libre c'est que ses dimensions deviennent incommodes quand on veut mesurer des pressions un peu fortes, parce que, quand la pression augmente, d'une atmos. par-

l'mercure monte dans la branche ou. verte de 76 cent. par suite, pour que l'appareil puisse mesurer de hautes pressions il faut lui donner de très grandes dimensions.

On emploie aussi un manomètre à air libre formé d'un tube placé sur une cuve en métal dans laquelle se trouve du Hg; le gaz ou la vapeur de Ho dont il faut mesurer la pression arrive par un tuyau T et refoule le mercure qui s'élève dans le tube: la pression est donnée par la colonne de mercure augmentée de la pression atmos.

Lorsqu'on ne veut pas donner au manomètre des dimensions aussi grandes que dans les 2 précédents on emploie le manomètre à air comprimé.

Il se compose d'un tube A fermé

continuant de l'air et plongeant dans le mercure. Le Hg est contenu dans la cuvette en fonte fermée par une plaque et un tuyau amène le gaz ou la vapeur dont on veut connaître la pression. On s'arrange de manière que le niveau du Hg dans le tube et la cuvette soit le même à 1 atmos.

La pression du gaz est égale à la force élastique de l'air contenu dans le tube augmentée de la colonne de Hg sous lui. Cet appareil peut être gradué expérimentalement à l'aide du manomètre à air libre.

Si l'on suppose que le tube soit parfaitement cylindrique on peut calculer la hauteur x qu'aura l'air dans le tube lorsque la pression, au lieu d'être H (pression atmos) deviendra H. Soit l la longueur de la colonne d'air dans le tube, lorsque le niveau est le

même dans le tube et la cuvette. Le volume de l'air est alors ls, en désignant par s la section du tube, sous la pression H; et lorsque la pression est nH le volume de l'air est xs et la pression est $nH - BC$; BC étant la différence de niveau dans le tube et la cuvette; or $BC = l - x$; donc la pression est $nH - (l - x) = nH - l + x$ et d'après la loi de Mariotte, on a:

$$lsH = xs(nh - l + x)$$

$$lH = nHx - lx + x^2$$

$$x^2 + (nH - l)x - lH = 0$$

$$x = \frac{(l - nH) \pm \sqrt{(l - nH)^2 + 4lH}}{2}$$

Comme d'après ce qu'il y a sous le radical une des racines est positive et l'autre négative, la première seule convient et on a:

$$x = \frac{(l - nH) + \sqrt{(l - nH)^2 + 4lH}}{2}.$$

Par suite si au point b on écrit n H
[illegible] croissante et s'il est sans limite
par le haut B la pression sera n H.

On donne quelquefois à cet
manomètre une autre forme. On le [illegible]
de manière que, lorsque la pression qui
s'exerce sur le mercure est d'1 atmos. le
niveau soit le même dans les 2 tubes.
On le gradue avec le manomètre à air libre.
Les 2 tubes A et B ayant même diamètre
si le Hg descend dans le tube a d'une lon-
gueur ac il monte dans le tube b d'une
longueur égale bD. Supposons que le tube
soit cylindrique. Désignons par l la
longueur de la colonne d'air dans le
tube b, quand le niveau du mercure
est en b, si s est la section du tube,
le volume de l'air sera ls et la pression de
cet air sera H (pression atmos). Quand
la pression sera n H le volume de l'air

sera xs et la pression $nH - CD$. CD est la différence des niveaux. Or d'après ce qu'on a dit $CD = 2 \, bD$. et $BD = l - x$. Donc $CD = 2(l-x)$; par suite la pression du gaz est

$$nH - 2(l-x).$$

D'après la loi de Mariotte on a

$$lsH = xs\left(nH - 2(l-x)\right).$$

D'où $lH = nHx - 2lx + 2x^2$.

$$2x^2 + (nH - 2l)x - lH = 0.$$

$$x = \frac{2l - nH \pm \sqrt{(2l-nH)^2 + 8lH}}{4}$$

Avec les appareils précédents lorsque la pression devient très forte la variation de volume est très faible pour des variations notables de pression.

Pour remédier on effile la partie supérieure du tube de manière à ce qu'on puisse lire les variations de volume.

Lorsque dans le dernier appareil les 2 tubes a et b n'ont pas le même diamètre

Il faut tenir compte de cette différence.

Pompes (aspirantes).

Cherchons à quelle hauteur s'élève l'eau dans le tuyau d'aspiration après un coup de piston.

Désignons par l la longueur du tuyau d'aspiration depuis le niveau de l'eau dans le puisard jusqu'à la soupape a (soupape inférieure) et désignons par L la longueur d'un tuyau hypothétique de même section s que la section du tuyau d'aspiration et dont le volume serait égal au volume du corps de pompe, lorsque le piston est au haut de sa course. Soit en outre H la pression atmos. évaluée en colonne d'eau. Lorsque le piston est d'abord au bas de sa course, le volume d'air dans le tuyau d'aspiration est ls et ce gaz est à la pression atmos. Quand le piston est au haut de

la course pour la 1ère fois, si l'eau s'élève dans le tuyau d'aspiration d'une hauteur x le volume occupé par l'air est $(L+l-x)s$. La pression qui agit sur le gaz est $H-x$. Il résulte que d'après Mariotte on a:

$$l s H = (L+l-x)s(H-x) \quad (1).$$

D'où $\quad lH = (L+l)H - Hx - (L+l)x + x^2.$

$$\text{ou} \quad x^2 = (L+l+H)x - LH.$$

$$x^2 - (L+l+H)x + LH = 0. \quad (2)$$

Remarque. Si l'on demande quels rapports doivent exister entre L, l, H pour qu'au 1er coup de piston l'eau s'élève jusqu'à la soupape a, il suffit dans la relation (1) de faire $x = l$ et l'on a

$$l s H = (L+l-l)s(H-l).$$

$$lH = L(H-l).$$

Connaissant la hauteur x que nous désignerons par x_1 à laquelle l'eau s'élève après le 1er coup de piston, cherchons la hauteur x_2 à laquelle l'eau s'élèvera

après le 2e coup de piston. Après le 1er coup de piston, comme on l'a dit, le volume de l'air est

$$(L+l-x_1)s \text{ et la pression } (H-x_1).$$

Quand le piston est levé pour la 2 fois le volume de l'air est $(L+l-x_2)s$ et la pression $(H-x_2)$.
Par conséquent d'après Mariotte on a

$$(L+l-x_1)s(H-x_1) = (L+l-x_2)s(H-x_2)$$

$$\text{ou } (L+l-x_1)(H-x_1) = (L+l-x_2)(H-x_2)$$

expression qui fera connaître x_2.
On trouverait d'une manière analogue la hauteur à laquelle l'eau s'élève après le 3e coup de piston et ainsi de suite.

Siphon

C'est un instrument destiné à transvaser les liquides d'un vase dans un autre. Il se compose de 2 branches A et B réunies par une branche CD. Pour qu'il fonctionne il faut qu'il soit amorcé c.à.d qu'il soit rempli du liquide à transvaser où A la petite branche plonge.

dans le liquide à transvaser et que B
dans lequel le même liquide se trouve
dans un même vase.

Pour comprendre pourquoi le liquide passe de A en B il faut voir quelles
sont les pressions qui agissent sur une tranche
n de liquide placé dans CD. La pression
qui pousse cette tranche de gauche à
droite est la pression atmos. qui agit sur le
liquide en A diminuée du poids d'une
colonne de liquide ayant pour section la
section s de la tranche n pour hauteur
la distance du centre de gravité de n au
niveau de A et pour densité la densité d
du liquide. Cette pression est $H - s h d$. La
force qui pousse n de droite à gauche
est $H - s h' d$, h' étant la distance du
centre de gravité de n au niveau du
liquide dans B. La force $H - s h d$ étant
plus grande que $H - s h' d$ le liquide

passera donc du vase A à B et la branche se sera poussée par la force $H - shd - (H - sh'd)$

$$= s(h'-h)d.$$

Si l'orifice B n'est pas au-dessous [illegible] du liquide s'écoule il ne sera pas nécessaire que B plonge dans le liquide.

Pour amorcer un siphon s'il s'agit d'un liquide comme de l'eau ou du vin qu'on ne doit pas craindre dans la bouche on plonge l'extrémité du petit côté dans le liquide et appliquant la bouche à l'autre côté du long côté on aspire jusqu'à ce que le liquide soit au dessous de la partie courbe. Alors en ôtant la bouche le liquide s'écoule continuellement.

Machine de Compression

La machine de compression se compose comme la machine pneumatique d'un corps de pompe et d'un récipient. Dans le corps de pompe se trouve un piston qui se meut

Au dessous du corps de pompe se trouve un canal qui communique avec le récipient. Les soupapes sont disposées en sens contraire de celles de la mach. pneumatique. Ces deux soupapes s'ouvrent ici de haut en bas et en général le canal qui se trouvait dans le piston est remplacé par un canal placé à la partie inférieure du corps de pompe qui communique avec un vase V dans lequel se trouve un gaz à comprimer. Une soupape S qui ferme le canal s'ouvre de dehors en dedans.

Supposons le piston au bas de sa course. En soulevant le piston le gaz qui est dans le récipient ∧ forcé de soulever la soupape ... celui qui est dans le vase l'ouvrira S et fera le gaz de l'... dans le corps de pompe; en abaissant le piston, la soupape S se fermera, le gaz se comprimera et s'ouvrira et entrera dans le réc. Ici il faut

maintenir le récipient à l'aide de boulons
Si le récipient est en verre on l'entoure
d'un grillage pour empêcher les accidents
en cas de rupture.

Problème

Quelle sera la force élastique du gaz dans
le récipient après n coups de piston ?
Appelons H_0 la pression de l'air dans le
récipient avant le commencement de la pompe;
soit R le volume du récipient et P le volume
du corps de pompe, même indication que
dans la machine pneumatique. Lorsque le
piston sera au haut de sa course, si l'on
introduit dans le corps de pompe de l'air pur,
le corps de pompe renfermera un volume d'air
P à la pression atmosphérique H. Lorsqu'on abaissera
le piston l'air passera dans le récipient de
volume R et y acquerra une pression x dont la
valeur d'après la loi de Mariotte sera
donnée par $PH = Rx$. d'où $x = \frac{P}{R} \times H$; en outre
par suite du 1er coup de piston la pression de l'air,

dans le récipient sera $t_0 + \frac{P}{R} \times H$, à cause de la loi des mélanges des gaz; un 2e coup de piston en introduira également la même quantité d'air en sorte que la pression du gaz dans R sera $t_0 + \frac{2P}{R} \times H$.

Il semblerait résulter de là que l'on peut comprimer dans le récipient une quantité indéfinie de gaz mais nous allons voir qu'à cause de l'influence de l'espace nuisible la pression finale du gaz a une limite. Soit y la pression du gaz dans le récipient quand la machine cesse de fonctionner. [illegible] l'air dont le volume est P et la pression H [illegible] au haut de sa course, comprimé dans l'espace nuisible se réduira au volume u et prendra la pression y; d'après la loi de Mariotte on aura $PH = uy$, d'où $y = \frac{PH}{u}$, ce qui fait voir que y sera d'autant plus grand que u sera plus petit et P plus grand. Lorsque y aura la tension

donné par $\frac{P}{V} \times H$ le gaz n'acquiera plus dans l'espace nuisible une force suffisante pour ouvrir la soupape o et par conséquent le gaz ne pourra plus entrer.

Chaleur

On donne le nom de chaleur à la cause des sensations de froid et de chaud. L'effet le plus sensible de la chaleur sur les corps est la dilatation. [illegible]

[illegible]

la boule passe exactement dans l'anneau. Elle tient et bien chauffée avec une lampe à alcool elle se dilate à un tel point qu'elle ne peut plus repasser dans l'anneau. Si on chauffe en même temps la boule et l'anneau la boule passe toujours en touchant l'anneau mais si l'on chauffe l'anneau seul elle passe plus librement. Donc les corps solides se dilatent en volume. Les instruments se nomment (pyromètre à cadran). [illegible] Lavoisier. Gay-Lussac.

Température

On désigne sous ce nom la propriété qui fait que les différents corps nous paraissent chauds ou froids. On dit que la température d'un corps monte quand on le chauffe et qu'elle baisse quand on le refroidit. Les instruments pour mesurer la température s'appellent thermomètres. On emploie généralement le thermomètre à mercure ou à

alcool. Pour graduer le premier on déter-
mine deux points fixes l'un le point 0 l'autre
le point 100. Le point 0 s'obtient en plongeant
l'instrument dans la glace fondante de façon
que toute la mercure soit recouverte de glace.
Pour 100. on met le thermomètre dans la
vapeur d'eau produite dans un manomètre
en métal surmonté d'une double chemi-
née. On chauffe l'eau; la vapeur ne peut
passer que dans la cheminée centrale et
passe ensuite par des orifices dans le com-
partiment moyen et elle se rend dans l'atmos-
phère par le tuyau. En regardant le tuyau on
trouve un autre portant du liquide en bas
La partie supérieure de l'appareil porte un
bouchon métallique percé à son centre
d'un trou muni d'un bouchon qui est
lui-même percé et dans le trou du bouchon
on place le thermomètre. On s'arrange de façon
que toute la partie de la tige du thermomètre

qui contient du mercure soit dans la vapeur d'eau. S'il est porté à l'ébullition, on soulève de temps en temps le tube; au bout de 20 mi. à peu près on met un trait au diamant au point où arrive le mercure; on remet le thermomètre et on s'assure que le niveau ne s'est [illegible] [illegible] 100 à la condition que $H = 760^{mm}$. Si cela n'a pas lieu et si en lisant la pression indiquée par le baromètre et la pression normale est de 27^{mm} au dessus de 760 il faudra marquer au trait 101. On admet aussi que la température d'ébullition de l'eau augmente ou diminue de 1° pour 27^{mm}, on divise ensuite avec une machine l'espace entre 0 et 100 en 100 parties égales.

Le thermomètre le plus employé en France est centigrade 0 à 100

Réaumur 0 à 80

Farenheit 32 à 212.

$180^F = 100^C$ à 80^R.

On a encore les thermomètres à maximum et à minimum.

Dilatation des corps solides.

Quand on chauffe une barre solide elle s'allonge dans le sens de la longueur et on est conduit à considérer aussi la dilatation superficielle d'une plaque solide ou la dilatation en volume d'un corps solide. Ces 3 espèces de dilatations prennent le nom de dil. linéaire, superficielle et cubique.

On appelle coefficient de dil. linéaire l'allongement de l'unité de longueur d'une barre pour l'élévation de température de 1 degré.

Le coefficient de dil. superficielle est l'augmentation de l'unité de surface d'une plaque pour une élévation de température de 1°.

Le coefficient de dil. cubique l'augmentation de l'unité de volume d'un solide pour une élévation de température de 1°.

Supposons qu'une barre ait pour longueur l à $t°$ et pour longueur l' à $t'°$. Supposons $t' > t$. L'allongement pour $t'-t$ = $l'-l$, l'allongement pour $1° = \frac{l'-l}{t'-t}$ [illegible] le coefficient de dilatation [illegible] par la longueur [illegible]

$$\text{ce qui} = \frac{l'-l}{l(t'-t)}$$

Problème. Étant donné la longueur l_0 d'une barre à $0°$ trouver sa longueur l_t à $t°$ connaissant le coefficient de dilatation k.

k étant le coefficient c'est que une barre s'allonge pour l'unité de longueur (mètre par exemple) pour 1° est k, par suite pour $t°$ il sera kt. Donc une ~~barre~~ longueur 1 passant en passant de $0°$ à $t°$ deviendra $1+kt$ et si au lieu d'être un mètre était l_0 la longueur serait $l_0(1+kt)$ et on aurait

$$l_t = l_0(1+kt) \quad (1)$$

(2) Étant donné la longueur d'une barre à t degrés trouver sa longueur à $0°$ con-

...ment k il suffit de résoudre l'équation (1) par rapport à l_0 ce qui donne $l_0 = \frac{l_t}{1+kt}$ (2).

3 Étant donné la longueur l_t d'une barre à t degrés trouver la longueur $l_{t'}$ de la même barre à t' degrés. Le coefficient de dilatation étant k.

D'après ce qu'on a les deux relations:

$$l_t = l_0 (1+kt)$$

$$l_{t'} = l_0 (1+kt')$$

d'où $\frac{l_{t'}}{l_t} = \frac{1+kt'}{1+kt}$

d'où $l_{t'} = l_t \times \frac{1+kt'}{1+kt}$ (3)

... donne à la formule (3) une autre forme. On remarque que si l'on divise $1+kt'$ par $1+kt$ on a pour quotient ce qui suit

$$\begin{array}{l|l} 1+kt' & 1+kt \\ \hline k(t'-t) & 1+k(t'-t)-k^2t(t'-t) \\ -k^2t(t'-t) & \\ \hline k^3t^2(t'-t) & \end{array}$$

Or comme on trouve plus loin k est un nombre extrêmement petit que k^2, k^3 étant

de nombres très petits et t. on les multiplie par $(t'-t)$ ces nombres sont de l'ordre négligeable et on rend tout produit

$$1+k(t'-t)$$

et (3) devient $l_{t'} = l_t(1+k(t'-t))$ (4)

cette formule (4) peut servir à calculer la longueur d'une barre à t degrés connaissant sa longueur à 0°; on n'a qu'à faire dans la formule $t-0$. alors elle devient $l_t = l_0(1+kt)$.

Dans les problèmes on emploie la formule (3).

Dilatation superficielle

Si on appelle S_0 une surface à 0°, δ le coefficient de dilatation superficielle en raisonnant comme plus haut on trouve les formules.

$$S_t = S_0(1+\delta t)$$

$$S_0 = \frac{S_t}{1+\delta t}$$

$$S_{t'} = S_t \times \frac{1+\delta t'}{1+\delta t}$$

ou $S_{t'} = S_t\left(1+\delta(t'-t)\right)$.

Dilatation cubique.

De même si l'on appelle V_0 le volume d'un corps à 0° par α le coefficient de dilatation cubique, par V_t, $V_{t'}$ les volumes à t et à t' degrés on aura

$$V_{t'} = V_0(1+\alpha t')$$

$$V_t = V_0(1+\alpha t)$$

$$V_{t'} = V_t\left(\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}\right)$$

$$\text{ou } V_{t'} = V_t\left\{1+\alpha(t'-t)\right\}$$

Il reste à trouver les relations entre les grandeurs des 3 coefficients de dilatation

1° le coeff. de dilat. superficielle est le double du coeff. de dilatation linéaire

Pour démontrer ce principe on admet que quand 1 corps se dilate il reste semblable à lui même et on sait que les aires des figures semblables sont proportionnelles aux carrés de leurs côtés homologues.

Si donc si l'on désigne par S_0 la surface d'un corps [illegible] à 0°

Car l_0 la longueur d'une dimension du corps à 0° et par l_t la longueur de la dimension homologue à t^0 on aura

$$\frac{s_t}{s_0} = \frac{l_t^2}{l^2_0}$$ en remplaçant S_t et l_t par leurs valeurs trouvées précédemment l'équation précédente deviendra

$$\frac{s_0(1+\delta t)}{s_0} = \frac{l_0^2(1+\lambda t)^2}{l_0^2}$$

d'où $(1+\delta t) = (1+\lambda t)^2$

d'où $1+\delta t = 1+\lambda^2 t^2 + 2\lambda t$.

d'où $\delta = 2\lambda + \lambda^2 t$.

et comme, [illegible] $\lambda^2 t$ est un terme négligeable on a

$$\delta = 2\lambda.$$

12° Le coefficient de dilatation cubique est le triple du coeff. de dilat. linéaire.

Comme 2 vol. semblables sont proportionnels aux cubes de leurs côtés homologues en désignant par V_0 le volume d'un corps à 0° par V_t son volume à t degrés par l_0 la longueur

et l'une des arêtes à 0° par l_0 cette même longueur à t deg. on aura

$$\frac{V_t}{V_0} = \frac{l^3_t}{l^3_0}.$$

En remplaçant V_t et l_t par leurs valeurs trouvées précédemment on aura

$$\frac{V_0(1+\alpha t)}{V_0} = \frac{l^3_0(1+\lambda t)^3}{l^3_0}.$$

D'où $\quad 1+\alpha t = (1+\lambda t)^3$.

D'où $\quad \alpha = 3\lambda + 3\lambda^2 t + \lambda^3 t^2$.

Comme $\lambda^2 t$ et $\lambda^3 t^2$ sont négligeables on aura

$$\alpha = 3\lambda.$$

La détermination du coeff. de dil. linéaire d'un solide a été faite par plusieurs.

Les méthodes employées varient assez peu. Nous dirons comment ce coeff. a été déterminé par Laplace et Lavoisier. Cet appareil est très simple une cuve en métal de laquelle il y a placé des rouleaux et sur ces rouleaux une barre métall., dont on voulait mesurer l'allongement. L'extré-

mité de la barre s'appuyait sur une terre
mince qui était fixée dans un étau por-
tatif. L'épaisseur en [illegible] de cette pièce
[illegible] [illegible] de barre étaient [illegible]-
[illegible] [illegible]. L'autre côté de barre s'appuyait
contre un [illegible] qui était fixé à
son extrémité [illegible] dans un cylindre
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible]. La
barre [illegible] [illegible] [illegible] un [illegible]
qui [illegible] [illegible] [illegible] et sur cet axe un
[illegible] [illegible] était une [illegible] [illegible]
blanche on visait une mire placée à quan-
[illegible] [illegible] et à 3. lorsque la barre
s'était [illegible]; quand elle était chauf-
fée [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] était [illegible] [illegible]. On
[illegible] en mettant de l'eau chaude
[illegible] et on [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] un certain
temps. On regardait dans la lunette quel

était le numéro de la mire qui se trouvait à l'intersection des fils de la lunette au commencement & à la fin de l'opération. la mire étant tracée en centimètres on en déduisait l'allongement.

Soit C la lunette xy la mire AB le barreau [illegible] B' [illegible]

$$\frac{BB'}{OO'} = \frac{CB}{C O} \quad [illegible] \quad BB' = \frac{CB}{CO} \times OO'$$

[illegible] OO' [illegible] BB' [illegible] $\frac{CB}{CO}$. [illegible] 7,74. [illegible]

[illegible].

[illegible]

fer	0,0000117	le plus dilatable
Cu	0,0000191	le moins dilatable.
Pt	0,0000087	
Zn	0,000025	

Il est à observer que quand un corps creux se dilate il se dilate tout à fait comme s'il était massif ; mais [illegible] fait voir le volume d'une boule en cuivre il suffit de connaître [illegible] cuivre le coeff. de dilatation du cuivre sans se préoccuper si la sphère est creuse ou massive.

Quand on connaît le coeff. de dilatation linéaire d'un corps on peut avoir son coeff. de dilatation cubique en triplant le premier. [illegible] directement par [illegible] coeff. de dilat. cubique par la méthode du thermomètre à poids.

Détermination de α par le therm. à poids. Le therm. à poids se compose d'un réservoir d'un therm. ordinaire et la tige de ce therm. est 2 fois recourbée à angles droits. On détermine le poids de l'instrument quand il est vide. Puis on [illegible] de [illegible] l'extrémité de la tige effilée et pour cela

on opère comme pour remplir un therm. ordinaire. On pèse de nouveau l'instrument. Il est clair que l'augmentation P du poids [illegible] le poids du Hg [illegible]. [illegible] d'introduire le Hg on [illegible] le corps sur lequel on [illegible] déterminé son poids p, en désignant par D_0 le poids spécifique du Hg à 0° et par d_0 la densité spécifique du corps à 0° [illegible] tement [illegible] est $\frac{P}{D_0}$ et que le volume du corps [illegible] est $\frac{p}{d_0}$ [illegible] volume intérieur de l'appareil est

$$\frac{P}{D_0} + \frac{p}{d_0}$$

[illegible] par K le coefficient de dilat. [illegible] chauffant l'appareil de 0° à t° [illegible] volume de l'instrument deviendra

$$\left(\frac{P}{D_0} + \frac{p}{d_0}\right)(1+Kt).$$

Mais d'autre part quand on chauffe l'appareil une partie du Hg sort; alors le poids du Hg [illegible] diminué à 0 le poids [illegible] alors le poids du Hg

qui reste est $P - \pi$; son volume à 0° est $\frac{P-\pi}{D_0}$
et si α est le coeff. de dilat. absolue de Hg
quand ce mercure est porté à t° son volume

$$= \frac{P-\pi}{D_0}(1+\alpha t).$$

En outre le volume du corps qui était $\frac{p}{d_0}$ à 0°
devient à t° si son coeff. de dilat. est x

$$\frac{p}{d_0}(1+xt)$$

Comme la somme des 2 derniers volumes est
égale au premier on a la relation

$$\left(\frac{P}{D_0} + \frac{p}{d_0}\right)(1+Kt) = \frac{P-\pi}{D_0}(1+\alpha t) + \frac{p}{d_0}(1+xt) \quad (1).$$

Dans cette relation on ne connait ni K, ni α,
ni x. Il faut donc déterminer préalablement
K et α. Supposons que α soit connu (on
indiquera plus tard comment on l'obtient)
pour avoir K on fait une expérience avec le
thermomètre à poids sans mettre de corps à
l'intérieur. On l'emplit simplement de Hg
et on opère comme on vient de l'indiquer.
Si l'on désigne par P_1, par t_1, par π_1 les
quantités correspondantes à P, t et π on aura

$$\frac{P_1}{D_0}(1+k\theta_1) = \frac{P_1 - \pi_1}{D_0}(1+\alpha\theta_1) \text{ ou}$$

$$P_1(1+k\theta_1) = (P_1 - \pi_1)(1+\alpha\theta_1)$$

Cette relation donne k quand α est connu.

Détermination de α.

Trouver le coeff. de dilat. absolue du Hg.
Cette détermination a été faite par Dulong et Petit.

Ils se sont servis d'une sorte de vase communiquant formé de 2 branches verticales assez larges et réunies par un tube très mince dont l'axe était parfaitement horizontal. Dans cet appareil se trouvait du Hg et quand les 2 branches A et B étaient à 0° le Hg s'élevait à la même hauteur dans les 2 branches. On s'arrangeait de façon que l'une des branches A restât à 0° tandis que l'autre B était portée à t°. À cause de la petitesse du tube de communication les liquides ne pouvaient se mélanger. On mesurait au cathétomètre les distances verticales de l'axe horiz. du tube au niveau du Hg dans chaque

branche. Si l'on désigne par h_t la hauteur du Hg dans B et par h_0 la hauteur dans la branche A, comme les hauteurs sont en raison inverse des densités si d_t et d_0 sont les densités du Hg à t^o et à 0° on aura :

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{d_0}{d_t} \quad (1).$$

Si l'on considère une certaine masse de Hg dont le poids est P, comme le poids d'une masse d'un corps ne varie pas avec la température, si l'on désigne par V_0 le volume de cette masse à 0° et par V_t le volume de la même masse à t^o on aura.

$$P = V_0 d_0$$

$$P_1 = V_t d_t.$$

D'où $\quad d_0 V_0 = d_t V_t.$

D'où $\quad \frac{d_0}{d_t} = \frac{V_t}{V_0}.$

Alors la formule (1) devient :

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{V_t}{V_0}.$$

Or on a démontré que l'on avait :

$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$ α étant le coeff. de dilat. ;

par suite (2) devient

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{V_0(1+\alpha t)}{V_0}$$

ou $\frac{h_t}{h_0} = 1+\alpha t$.

D'où $\alpha = \frac{h_t - h_0}{h_0 t}$.

On a trouvé pour le coeff. de dil. absolu du Hg

$\alpha = \frac{1}{5550}$. Plus loin on verra

que le coeff. de dilat apparente est $\frac{1}{6480}$ (nombres

qu'on ne donne pas dans les facultés et qu'il

faut savoir.

Remarque — Pour déterminer α il n'est pas nécessaire de connaître h_t il suffit de connaître h_0 et $h_t - h_0$ c'est-à-dire h_0 et la différence de niveau du Hg dans les 2 branches. C'est en effet ce qu'on mesure au cathétomètre.

Pour faire l'expérience Dulong et Petit avaient posé leur appareil sur une plaque munie de vis calantes et amenaient par tâtonn. du tube de communication (?) fût être horiz. Puis ils entouraient A d'un manchon dans lequel se trouvait de la glace fondante et B d'un autre manchon

dans lequel on mettait de l'huile. Ce man-
chon était entouré d'un fourneau en brique
en sorte qu'on pouvait porter la température
de 0° à 250°. Ces manchons étaient munis de haut
de plaques en verre et ces plaques étaient
placées de façon à ne pas commettre d'erreur
dans la mesure de haut du pt.

Relation entre le coeff. de dilat absolue d'un
liquide et le coeff. de dilat. apparente et le
coeff. de dilat. de l'enveloppe.

Pour cela on peut se servir d'un appareil sem-
blable à un thermomètre.

Soit V le volume apparent du liquide à t°,
c.a.d volume qu'on lit sur l'appareil.
Si Vo est le volume du même liquide à 0°
la dilatation apparente du liquide en passant
de 0° à t° est V-Vo. La dilat. apparente de
l'unité de volume sera

$$\frac{V-V_o}{V_o}$$

et la dilat. pour 1° sera $\frac{V-V_o}{V_o t}$.

C'est là par définition le coeff. de dil. apparente du liquide. En le désignant par α' on aura:

$$\frac{V-V_0}{V_0 t} = \alpha' \quad (1).$$

D'autre part, si V_0 est le volume du liquide à 0° et si α est son coeff. de dilat. absolue le volume à t° sera

$$V_0(1+\alpha t)$$

d'un autre côté le volume apparent V qu'occupe le liquide a pour valeur réelle $V(1+kt)$, k étant le coeff. de dilat. de l'enveloppe.

Les 2 volumes étant égaux on a

$$V(1+kt) = V_0(1+\alpha t)$$

D'où $\frac{V}{V_0} = \frac{1+\alpha t}{1+kt}$ ou

$$\frac{V-V_0}{V_0} = \frac{1+\alpha t-1-kt}{1+kt} = \frac{t(\alpha-k)}{1+kt}.$$

Divisant les 2 membres par t on a

$\frac{V-V_0}{V_0 t} = \frac{\alpha-k}{1+kt}$. Or le premier membre de l'égalité d'après (1) est le coeff. de dil. apparente α' du liquide on a donc

$\alpha' = \frac{\alpha-k}{1+kt}$; et, comme, ainsi qu'on

La dilat. k est très petit. on peut admettre que $1+\alpha t = 1$ et alors on a

$$\alpha' = \alpha - K \quad \text{d'où} \quad \alpha = \alpha' + K$$

Donc le coeff. de dil. absolue d'un liquide = la somme des coeff. de dilat. apparente et de l'enveloppe.

On a ainsi trouvé pour Hg $\frac{1}{5550}$

Détermination du coeff. de dil. absolue des liquides.

Pour déterminer le coeff. de dilat. absolue d'un liquide on peut employer la méthode du thermomètre à poids.

On commence par remplir l'appareil de Hg puis on le chauffe à $t°$; on recueille le poids π du Hg qui sort et si P représente le Hg qui entre à $0°$. D_0 son poids spécifique π le poids de Hg qui sort. t la température K le coeff. de dilat. du verre α le coeff. de dilat du Hg, comme on l'a vu plus haut, on aura la relation :

$$\frac{P}{D_0}(1+Kt) = \frac{P-\pi}{D_0}(1+\alpha t)$$

ou $P(1+kt) = P - \pi(1+\alpha t)$

Cette relation fera connaître k puisqu'on connaît α. Cela étant on fait écouler le Hg, puis on introduit dans l'appareil le liquide sur lequel on veut opérer.

Soit P_1 le poids du liquide contenu à 0° et t' la [illegible] on porte le liquide, π le poids qui sort soit d_0 la densité du liquide à 0°. On aura

$$\frac{P_1}{d_0}(1+kt') = \frac{P_1 - \pi_1}{d_0}(1+\alpha' t') \quad \text{ou}$$

$$P_1(1+kt') = P_1 - \pi_1(1+\alpha' t')$$

Cette relation fera connaître α' puisque k est connu (α' est le coeff. inconnu du liquide sur lequel on opère.

Méthode des thermomètres communs.

M Curie a déterminé le coeff. d'un certain nombre de liquides en se servant d'appareil semblable à un thermomètre. Sur la tige du thermomètre il marquait un certain point, il marquait autant de repères, puis il divisait la tige en un certain

nombre de parties égales et cherchait le rapport qui existe entre le volume d'une division de la tige et le volume du réservoir. Ce qu'il peut faire en pesant l'appareil vide, puis l'appareil contenant du Hg jusqu'au trait de repère. L'augmentation du poids donne le poids de Hg introduit et en divisant ce poids par la densité de Hg à 0° il avait le volume du réservoir jusqu'au trait de repère. Il introduisait dans l'appareil une petite quantité de Hg occupant par ex. n divisions. L'augmentation nouvelle de poids donnait le poids du Hg contenu dans ces n divisions puis, en divisant ce poids par la densité du Hg il avait le volume de n divisions et en divisant par n il avait le volume d'une division.

Cela étant il commençait par mettre dans l'appareil un volume V_0 de Hg puis il le portait à 0° et il lisait sur la

tig. le volume apparent V qu'occupait ce Hg.
Le volume réel est alors

$V(1+kt)$ k étant le coeff. de dilat.

de l'enveloppe. D'un autre côté si α est le coefficient de dilat. du Hg le volume de ce Hg est $V_0(1+\alpha t)$

et, comme les 2 volumes sont égaux, on a

$V(1+kt) = V_0(1+\alpha t)$ ce qui donne k.

Cela étant, on chasse le Hg et on le remplace par le liquide sur lequel on veut opérer. En désignant par V_1 t' V_{10} α' les quantités correspondantes à V, t, V_0 et α on aura

$V_1(1+kt') = V_{10}(1+\alpha' t')$

d'où on a α' puisque k est connu.

Dulong et Arago avaient pensé que le coeff. de dilat. des liquides et en particulier du Hg était constant. Mais il résulte des expériences de Regnault que ce n'est vrai que jusque vers 80°. Il résulte d'expériences exactes sur le coeff. de dil. d'un liquide peut être

représenté par:

$$\alpha = a + bt + ct^2$$

t étant la température, a, b, c étant des constantes qu'on détermine à l'aide de plusieurs expériences faites sur un même liquide à des températures différentes.

Dilatation de l'eau.

En étudiant la dilatation et cette étude a été faite par Despretz et Pierre, on est arrivé à cette conséquence que l'eau portée à 50° par ex. se contracte lorsqu'on la refroidit et cela jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température de 4°.

Si l'abaissement de température continue on trouve qu'à partir de 4° le volume de l'eau augmente et comme le volume de l'eau reste constant pendant un certain temps il est assez difficile de connaître exactement la température à laquelle

le liquide atteint son maximum de contraction.

On y arrive par le calcul plutôt que par l'expérience.

Despretz, dans cette étude s'est servi d'un appareil semblable à un thermomètre dont la tige était divisée à partir d'un certain point. Il a commencé (?) le rapport entre le volume d'une division de la tige et le volume du réservoir. Si l'on désigne par V_0 le volume du réservoir à 0°, par v_0 le volume d'une division de la tige à 0°, si l'eau qui est dans l'appareil à 0° occupe n divisions de la tige son volume sera $V_0 + nv_0$. Cela étant si on porte cette eau à des températures t_1, t_2, t_3 et si N', N'' etc. sont les nombres de divisions qu'occupe l'eau à ces différentes températures, le volume occupé par l'eau aux températures t', t'', t''' sera

$$(V_0 + N'v_0)(1 + kt_1)$$
$$(V_0 + N''v_0)(1 + kt_2)$$
$$(V_0 + N'''v_0)(1 + kt_3)$$ k étant le

coeff. de dil. du verre et comme les densités d'une même masse de liquide sont en raison inverse des volumes on conçoit qu'on pourrait déterminer approximativement la température à laquelle ce maximum aurait lieu.

Ceci posé, on est arrivé au résultat suivant. Si l'on désigne par Δ^t la dilat. absolue de l'eau à diff. tempéra. cette dilatation peut être représentée par la formule.

$$\Delta^t = at + bt^2 + ct^3.$$

a, b, c étant des constantes qu'on peut déterminer par l'expériences.

Hope, pour faire voir que le maximum de contraction de l'eau se faisait à 4° a fait l'expérience suivante.

Il a pris une éprouvette à pied et muni à une des extrémités du cylindre formant l'éprouvette il introduit 2 thermomètres T et T' l'un à la partie supérieure et l'autre à la partie inférieure. Entre les 2

thermomètre et a placé un vase cylindrique l'em-
portant avec l'éprouvette et dans lequel il a mis de
la glace fondante.

Il a constaté que l'eau était d'abord
à la tempéra. extérieure la temp. du thermomètre
inférieur baissait tandis que celle du
supérieur ne variait pas. Cela indique que l'eau
devenait plus lourde et tombait au fond du vase
à mesure qu'elle se refroidit. Au bout d'un
certain temps le thermom. inférieur marque 4°,
et à partir de ce moment, la tempér. du
thermom. inférieur reste stationnaire tandis
que celle du thermom. supérieur baisse. Quand
cette tempéra. le thermom. supérieur atteint 4°,
bientôt après la tempéra. du thermom. supérieur
baisse encore pendant que l'autre reste à 4°.

Donc, à partir de 4° l'eau se dilate.
Le fait que l'eau la plus froide venait au som-
met de l'éprouvette. De là on conclut que c'est
dans le voisinage de 4° que l'eau possède son

maximum de densité. C'est d'ailleurs cette tempér. de 4° qui a été adoptée pour le maximum de contraction de l'eau. On sait que quand on a établi le système métrique, pour avoir l'unité de poids ou le gramme, on a pris le poids d'un centim. cube d'eau à 4 cent. Ce résultat explique pourquoi, lorsque les rivières se gèlent, la glace ne se forme qu'à la partie supérieure, et les poissons peuvent vivre à la partie inférieure dont l'eau conserve encore une tempér. d'environ 4°.

Dilatation des gaz.

On sait que quand on chauffe un gaz, il se dilate et que cette dilat. est beaucoup plus grande que pour les liquides et les solides. La dilatation des gaz a d'abord été étudiée par Gay Lussac, puis par Regnault. Avant d'in-diquer les principales expériences que ces phy-

ainsi ont faite nous allons établir quelques formules d'une grande utilité.

Si l'on désigne par V le volume d'un gaz à t°, par Vo le volume de la même masse à 0°, si α est le coeff. cubique du gaz, c. à d. l'augmentation de l'unité de volume pour une élévation de température de 1°. En raisonnant comme on l'a vu plus haut ...

$$V = V_0 (1 + \alpha t)$$

Si l'on désigne par V' le volume de la même masse de gaz à la température t' on aura de même

$$V' = V_0 (1 + \alpha t')$$

d'où $\frac{V}{V'} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}$. D'où $V' = V \times \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}$ (1)

Mais pour établir cette formule on suppose que la pression du gaz restait la même pendant toute la durée de l'expérience.

Supposons que la pression change. Soit H la pression du gaz quand son volume est V et H' sa pression ~~quand son volume~~ dans la 2e partie de l'expérience. Si l'on désigne par u le volume

on aurait d'abord le gaz en supposant que la température reste constante. D'après Mariotte on a. peut énoncer sous ce problème général.

Étant donné le volume d'une masse gazeuse à la température t et sous la pression H; trouver le volume V' de la même masse à la température t' et sous la pression H'. Supposons d'abord que la pression seule varie et désignons par V_1 le volume occupé par le gaz à $t°$ et sous la pression H; on a d'après Mariotte

$$\frac{V_1}{V} = \frac{H}{H'} . \quad V_1 = V\frac{H}{H'}.$$

En faisant varier maintenant la température on aura, en désignant par V' le nouveau volume du gaz.

$$\frac{V'}{V_1} = \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} \quad \text{ou} \quad V' = V_1 \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}.$$

et remplaçant V_1 par sa valeur

$$V' = V \times \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} \times \frac{H}{H'} \quad (2)$$

Remarque. Ce résultat conduit immédiatement à la question suivante:

Étant donné la densité D d'un gaz

à la température t trouver sa densité D' à la tempé- *(interligne : et sous la pression H)*
rature t' et sous la pression H'.

En effet les densités d'une même masse étant en raison inverse des volumes qu'elle occupe on a

$$\frac{D'}{D} = \frac{V}{V'}.$$

Mais on a
$$\frac{V}{V'} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'} \times \frac{H'}{H}.$$

En substituant il vient

$$D' = D \times \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'} \times \frac{H'}{H}. \quad (3)$$

Évaluation du volume ou de la densité d'une même masse ramenée dans les conditions normales de température et de pression.

L'un des problèmes qu'on a le plus fréquemment à résoudre est celui où, connaissant le volume V ou la densité D d'une masse gazeuse à une tempéra. t et sous une pression H, on cherche le volume V_0 ou la densité D_0 dans les conditions normales de tempéra. et de pression c.à.d à 0° et sous la pression de 760mm.

Dans ces formules (2) et (3) il suffit de faire
$t' = 0$ et $H' = 760$ et l'on a $(D' = D_0)(V' = V_0)$

$$V_0 = V \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{H}{760} \quad (4)$$

$$D_0 = D(1+\alpha t)\frac{760}{H} \quad (5)$$

Pour déterminer le coeff. de dilat. des gaz Gay Lussac a pris une grande caisse dans laquelle il introduisait de l'eau qu'on pouvait chauffer au moyen d'un fourneau ou d'une lampe à alcool. Les thermomètres placés dans l'intérieur indiquaient à chaque instant la tempéra.

Dans cette caisse Gay Lussac plaçait un ballon B muni d'un long col et contenant un gaz sec et le col était [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] Si l'on désigne par V_0 le volume

du ballon à 0°, puis par v_0 le volume d'une division de la tige, si n est le nombre de divisions [illegible] tout d'abord occupées par le gaz à 0° ([illegible]) [illegible] à 0° était $V_0 + nv_0$.

Si α est le coeff. de dilat. du gaz en chauffant le gaz à t° [illegible] en [illegible] de l'enceinte à t° le volume du gaz sera

$$(V_0 + nv_0)(1+\alpha t).$$

Cela étant, si le nombre des divisions occupées par le gaz dans la tige est n' son volume apparent est $V_0 + n'v_0$.

Mais comme le volume [illegible] est porté à t°, si k est le coeff. de dilat. du verre de l'appareil, le volume du gaz sera

$$(V_0 + n'v_0)(1+kt).$$

Ces 2 volumes étant égaux on a

$$(V_0 + nv_0)(1+\alpha t) = (V_0 + n'v_0)(1+kt).$$ [illegible]

on peut déduire α si toutes les autres quantités sont connues.

Pour introduire du gaz dans l'appareil Gay-Lussac remplissait d'abord l'appareil d'Hg puis il le plaçait de façon que le tube fût vertical et la partie ouverte en bas. Cette partie ouverte aboutissait à une sorte d'allonge dans laquelle il y avait des matières desséchantes comme du $CaCl$; avec un triangle en platine il faisait tomber le Hg; ce Hg était remplacé par de l'air ou par tout autre gaz qui se desséchait en passant dans l'allonge. Quand tout le Hg était tombé il admettait que l'appareil était rempli de gaz sec. C'est à la suite de ces expériences que Gay-Lussac a été conduit aux lois suivantes qui portent son nom.

1° Tous les gaz se dilatent de la même manière entre 0° et 100°.

2° Le coeff. de dil. des gaz est constant et égal à 0,00375 et de la, [illegible]

a énoncé cette 3e loi:

Que le coeff. de dilatation est toujours le même quelle que soit la pression.

Regnault a repris les expériences de Gay Lussac, en ce qu'il trouvait que les expériences de ce dernier étaient sujettes à des causes d'erreur.

D'abord l'air employé n'était pas parfaitement sec; ensuite l'index de Hg qui se trouve dans le tube horiz. ne ferme pas complètement le tube de sorte que l'air pouvait passer entre le Hg et la paroi du tube ce que Regnault a constaté en reprenant l'appareil de Gay Lussac en faisant d'abord une première expérience puis en ramenant à 0° le volume du gaz; l'index n'occupait plus la même position que dans le 1er cas.

Ensuite la partie de la tige dans laquelle se trouvait le gaz n'était pas portée à la température t° d'où nouvelle erreur.

Regnault s'est servi de l'appareil suivant
Se compose d'un ballon assez grand enfermé
dans une boite dans laquelle on mettait
de la glace. Ce ballon qu'on peut fermer au moyen
d'un robinet porte un raccord, c. a d. une
pièce qui fait communiquer le ballon au moyen
d'un tube AB avec un manomètre à 2 branches
Ce manomètre est formé d'une branche assez
large au bas de laquelle se trouve une douille
en fer. A cette douille met en communica-
tion la grande branche avec une branche
plus petite verticale DF à l'aide du tube en
fer CD. Le sommet de la grande branche
on a marqué un trait de repère m. Au
point C de communication de la grande
branche et t. CD se trouve un robinet à
3 voies à l'aide duquel on peut établir la
communication entre les 2 branches du tube
et faire écouler une partie du Hg contenue
dans l'une ou l'autre des deux branches.

ou des 2 à la fois. Ce tube horiz. AB est coupé par son milieu & trouve adapté 1 tube en T qui s'emmanche dans les 2 parties du tube horiz AB. Ce tube en T communique au moyen d'1 tuyau en caoutchouc avec une série de tubes en V qui contiennent des matières desséchantes.

Cela étant les 2 branches du manomètre étant en communication au-dessus du Hg par un [illegible] dans la partie branchée latérale avec le haut [illegible] on puis on intercepte la communication entre les 2 branches et la communication avec l'extérieur au sommet C. On ajuste une pompe pneumatique à l'extrémité des tubes en U, on fait le vide, on enlève ainsi le gaz du ballon et le ballon en ce moment est entouré de glace fondante. Quand le vide est fait on laisse rentrer le gaz, de l'air par ex.; il se dessèche dans les tubes en U et quand le ballon est rempli on enlève de nouveau le gaz avec la pompe

parceque le gaz introduit n'est pas pur et qu'il contient de la vapeur d'eau.

On laisse entrer du gaz, on l'enlève de nouveau et on peut admettre qu'après avoir ainsi fait 20 fois le gaz qui est dans le ballon est pur et sec. Alors on enlève les tubes en V et on ferme le tube vertical du tube en T soit à la lampe au point b. On a ainsi dans le ballon un certain volume de gaz à 0°. On ouvre le robinet du manomètre et on s'arrange de façon que le niveau du Hg revienne en m; par la différence de niveau du Hg et par l'observation du baromètre on peut connaître la pression H du gaz enfermé dans le ballon et dans le tube AB.

On chauffe l'eau de la caisse jusqu'à t. On voit alors le Hg descendre dans la branche BC du manomètre et si l'on veut étudier la dilat. du gaz sous volume

constant, c'est d'ailleurs le seul cas que nous examinerons, on verse de Hg dans la petite branche du frein jusqu'à ce que le niveau de la grande branche revienne en m. On note alors la nouvelle pression du gaz enfermé dans le ballon AB.

Soit H + h cette pression.

Cherchons à appliquer la loi de Mariotte aux 2 volumes obtenus. Soit Vo le volume du ballon à 0° et par conséquent le volume du gaz jusqu'au point m. Soit de la caisse renfermant de la glace, soit v le volume du gaz renfermé dans le tube horiz. entre le trait et le trait du repère. Si la température extérieure est t le volume de ce gaz ramené à 0° est

$$\frac{v}{1+\alpha t}.$$

Si on porte la branche de la caisse dans laquelle se trouve le ballon à T° son volume sera

$V_0(1+KT)$ si K est le coeff. de dilat. du verre et comme le gaz renfermé dans le ballon est porté à la temp. de T le volume

du gaz ramené à 0° sera

$$\frac{V_0(1+kT)}{1+\alpha T}$$

si la tempé. extérieure est t' et si le volume du gaz renfermé dans le tube horiz. entre le point de repère et le point où le tube sort de la caisse en ramenant ce volume à 0° on aura

$$\frac{v'}{1+\alpha t'}$$

et comme les 2 volumes sont ramenés à 0° la loi de Mariotte est applicable et l'on a

$$\left(V_0+\frac{v}{1+\alpha t}\right)H=\left(\frac{V_0(1+kT)}{1+\alpha T}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)(H+h)$$

cette équation ne renferme pour inconnue que α mais comme α est placé 3 fois en dénominateur l'équation est du 3e et ne peut pas être résolue. Pour trouver α on emploie la méthode des approximations successives.

On suppose d'abord $t'=t=0$; alors l'équation ne renferme plus que α dans le

terme $\frac{t_0(1+\alpha T')}{1+\alpha t}$ elle devient du 1er et en la résolvant on a α.

Cela étant on porte cette valeur trouvée pour α dans les termes $1+\alpha t'$, $1+\alpha t''$ et on obtient pour α dans le terme $1+\alpha T$ le coeff. de dil. des gaz avec une plus grande approximation que je ne donnait puisqu'on ne fait plus $t' = t'' = 0$.

On a ainsi pour α une 2e valeur qu'on porte dans les termes $1+\alpha t'$, $1+\alpha t''$ et qui donne pour α déduit de ce terme $1+\alpha T$ une 3e valeur et ainsi de suite.

Régnault a obtenu de cette sorte pour le coeff. de dil. de l'air

0,00367 qui diffère de 0,00375

trouvé par Gay Lussac

Densités

Avant d'entreprendre cette question il est nécessaire d'examiner la correction qu'il faut effectuer dans les pesées. car nous savons qu'un corps de volume V qui pèse (P) grammes dans le vide perd dans l'air le poids d'un égal volume d'air ou $V\alpha$ en désignant par α le poids d'un cc^m^ d'air. Le poids du corps devient.

$$P = (P) - V\alpha. \quad (1)$$

α à 0° et sous 760 = 0,001293 on le suppose constant.

$V = \frac{(P)}{d}$ ainsi (1) devient

$$P = (P) - \frac{(P)\alpha}{d}$$

ou $P = (P)\left(1 - \frac{\alpha}{d}\right)$

On pose $\frac{\alpha}{d} = \sigma$

Alors $P = (P)(1-\sigma)$

Le vrai poids $(P) = \frac{P}{1-\sigma}$.

Ceci posé, nous savons que on détermine la densité des solides de 3 manières

d'abord par la balance hydrostatique, puis par le flacon ensuite par l'aréomètre.

1 Nous mettons le corps dans l'un des plateaux ; l'équilibrons avec une tare ; enlevons le corps et remplaçons par des poids (P). Enfin le suspendons au plateau par un fil et le faisons plonger dans l'eau. L'équilibre est rompu, on le rétablit en ajoutant P' qui est le poids de l'eau déplacé. Donc avec négligeables corrections

$$d = \frac{(P)}{(P')}.$$

La tare fait équilibre successivement 1° au poids apparent $vd - v\alpha$ de la valeur dans l'air des poids moins un volume du corps qui est $(P)(1-\delta)$.

d'où

$$vd - v\alpha = (P)(1-\delta) \quad (1).$$

2° au poids vd diminué du poids $\frac{v}{1+d_0}$ de l'eau et l'air augmenté de $P'(1-\delta)$

$$vd - v\alpha = vd - \frac{v}{1+d_0} + P'(1-\delta) \quad (2).$$

~~$vd - v\alpha$~~

$$\frac{v}{1+d_0} - v\alpha = P'(1-\delta) \quad (2')$$

De (1) nous tirons $\gamma = \frac{P(1-\sigma)}{d-\alpha}$.

Portant dans (2)' il vient

$$\frac{P(1-\sigma)}{(d-\alpha)(1+\delta_0)} - \frac{P(1-\sigma)\alpha}{d-\alpha} = P'(1-\sigma) \quad (2)''$$

d'où
$$\frac{P}{d-\alpha}\left(\frac{1}{1+\delta_0} - \alpha\right) = P' \quad (2)'''$$

$$\frac{P}{d-\alpha}\left(\frac{1-\alpha-\alpha\delta_0}{(1+\delta_0)}\right) = P'$$

$$P - \alpha P - \alpha P\delta_0 = P'd + P'd\delta_0 - P'\alpha - P'\alpha\delta_0.$$

$$P - \alpha P(1+\delta_0) = P'd(1+\delta_0) - P'\alpha(1+\delta_0)$$

$$P - \alpha P(1+\delta_0) + P'\alpha(1+\delta_0) = P'd(1+\delta_0)$$

$$P - \alpha(1+\delta_0)(P-P') = P'd(1+\delta_0)$$

$$d = \frac{P}{P'(1+\delta_0)} - \frac{\alpha(1+\delta_0)(P-P'')}{P'(1+\delta_0)}$$

d'où

$$d = \frac{P}{P'(1+\delta_0)} - \frac{\alpha(P-P')}{P'}.$$

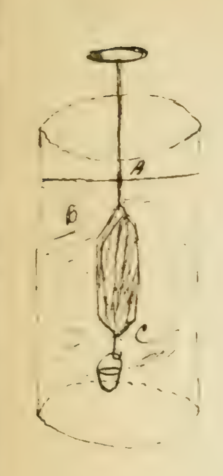
Il y a encore le procédé du flacon. Nous prenons un flacon bouchant à l'émeri et nous le mettons sur le plateau de la balance avec le corps dont nous cherchons la densité et dont le poids est P nous faisons équilibre

... eau; après avoir plongé dans le ... le corps; il en fait sortir un volume d'eau égal au sien V dont le poids est P'. Négligeant les corrections on aurait $d = \frac{P}{P'}$.
Pour la calculer exactement, il faut trouver le poids du corps comme précédemment ce qui donne

$$Vd - V\alpha = P(1-\delta) \quad (1)$$

En second lieu, on a plongé le corps dans le flacon. Dans l'air il perdait $V\alpha$; il fait sortir un poids d'eau égal à $\frac{V}{1+10}$ la perte totale de poids est donc $\frac{V}{1+10} - V\alpha = P'(1-\delta)$ (2).
On résout comme précédemment.

3 ... méthode ... aréomètres.
Celui de Nicholson se compose d'un cylindre ... surmonté ... par les ... inférieurement et inférieurement par deux cônes B et C; le cône inférieur porte une petite ... terminée par une ... en métal le



ère inférieur est terminé par un crochet auquel est attaché une sorte de corbeille (en formant du lest au-dessous du plomb) de manière qu'en plongeant l'instrument dans l'eau il se tient verticalement parce que le centre de gravité est au dessous du centre de pression.

Cela étant, lorsque l'instrument est dans l'eau sur la capsule supérieure on place le corps dont on veut déterminer la densité et à côté on met de la tare jusqu'à ce que l'instrument s'enfonce dans l'eau jusqu'à un point de repère A marqué sur la tige. Alors on enlève le corps on le remplace par des poids marqués et on s'arrange de façon qu'il s'enfonce encore dans l'eau jusqu'au trait d'affleurement. Il est évident que les poids marqués qui remplacent le corps donnent le poids du corps. Cet instrument pourrait servir à

déterminer le poids et l'on y s'appelle souvent balance de Nicholson.

Soit P le poids trouvé pour le corps. Cela fait, sans changer la tare on met le corps sur le petit panier inférieur de manière et on plonge ce nouveau le panier dans l'eau. L'instrument se relève à cause de la poussée subie par le corps et l'on met des poids dans le plateau pour rétablir l'affleurement en A. Ce poids sera évidemment celui du liquide déplacé

$$\text{et} \quad \delta = \frac{P}{P'}$$

Liquides

Pour les liquides il existe encore 3 procédés.

1° On suspend au plateau d'une balance une sphère de verre et on l'équilibre

On la plonge dans le liquide à 0 dont on cherche la densité on rétablit l'équilibre en ajoutant (P).
On l'essuie et on fait de même dans l'eau : on obtient (P')

$$\text{D'où} \quad d = \frac{P}{P'} \cdot \text{ sans correction.}$$

Le corps suspendu pèse dans l'air $P - V\alpha$

dans le liquide $vd - vx$. $(x = d)$. La différence $vx - v\alpha$ = la valeur dans l'air du poids P qui rétablit l'équilibre ou $P(1-\delta)$

donc $vx - v\alpha = P(1-\delta)$ (1)

Pour l'eau à 0° on a

$$\frac{v}{1+\delta_0} - v\alpha = P'(1-\delta) \quad (2)$$

2° On se sert d'un petit flacon à goulot mince fermé par un bouchon tubulaire terminé en pointe. fixe. on l'équilibre dans une balance; on l'emplit ensuite de liquide et on trouve une augmentation de poids P; dans l'eau : P'

3 L'aréomètre de Farenheit.

Il est en verre car il est destiné à être plongé dans différents liquides : on détermine rigoureusement le poids de l'instrument (seule fois qu'on le pèse) formé d'ailleurs d'un cylindre terminé par une boule dans laquelle on met du lest, du Hg. Le poids est important, on l'écrit en général dessus. Au dessus du cylindre est une tige

mince en cuivre sur laquelle il y a 1 point d'affleurement A surmonté d'1 plateau en cuivre. On plonge l'instrument dans le liquide sur lequel on veut opérer et on met sur le plateau pour que l'affleurement vienne en α des poids dont l'ensemble est p. Alors le poids du liquide déplacé est P+p puisque l'appareil est un corps flottant (P = aréomètre), puis on retire l'instrument du liquide, on le met dans l'eau et sur le plateau il faut mettre p' pour affleurer en α. Le poids déplacé est P+p'

$$\text{d'où } \frac{P+p}{P+p'} = d.$$

Les aréomètres que nous venons de voir sont des aréomètres à volume constant; ceux qu'on emploie en [illegible] [illegible] sur la [illegible] de l'instrument [illegible] [illegible] soit Aréomètre [illegible].

Mais on emploie aussi d'autres aréomètres dits à poids constants. Ils s'enfoncent plus ou

moins dans le liquide sur lequel on opère et ils sont en général destinés à faire connaître si le degré de concentration d'un liquide comme les acides, alcools, est suffisamment élevés; ces instruments sont employés dans le commerce; ils ont une graduation arbitraire.

1° Aréomètre de Beaumé. Ils se divisent en 2 séries. Les uns sont destinés à être plongés dans les liquides plus denses que l'eau. pèse-sels, pèse-acides etc; les autres sont destinés aux liquides moins denses que l'eau. Pèse-esprits. Pèse-liqueurs.

Pour construire un pèse acide l'on le leste de façon que si on le plonge dans l'eau pure et à la température de 15° il affleure au sommet de la tige où l'on met 0; puis on fait une dissolution de 85 parties d'eau et 15 parties de sel; on plonge l'instrument dans cette dissolution et il s'arrête d'affleurement

plomb — pèse acides sels

en marque 15; on divise l'espace en 15 parties égales et on continue la division au-dessous. Le [illegible] de graduation est [illegible] sur une feuille de papier introduit dans l'intérieur du tube. (L'lest peut être du Pb ou du Hg)

Pour [illegible] on met l'instrument dans l'eau [illegible] à 15° [illegible] de façon qu'il affleure vers le bas de la tige; au point d'affleurement on met 0; puis on le met dans une dissolution de 90 d'eau pour 10 de sel marin; au point on marque 10; on divise l'intervalle en 10 parties égales et on continue la graduation.

[illegible]

Problème [illegible]

[illegible]

une aréomètre de Baumé p. connaître les acides; trouver la densité du liquide dans lequel il est plongé.

Soit α le volume d'une division de la tige par ex. le volume compris entre la division 0 et la division 1; et x le nombre de fois que ce volume est contenu entre le 0 et l'extrémité inférieure de l'appareil. Alors le volume de la partie immergée dans l'eau sera $x\alpha$ et le poids de cette eau sera $x\alpha \times 1$; comme lorsqu'on plonge l'instrument dans la dissolution de 15 de sel et 85 d'eau il affleure à la division 15 le volume immergé dans le liquide est $x - 15\alpha$ et si d est la densité de ce liquide le poids du volume de liquide déplacé par l'instrument est $(x - 15)\alpha \times d$ et comme ces deux poids représentent le poids de l'instrument (car c'est un corps flottant) on a:

$$x\alpha \times 1 = (x - 15)\alpha \times d \quad (1)$$

Lorsqu'on met l'instrument dans le liquide et qu'il affleure à la division N si D est la densité du liquide en faisant le même raisonnement que plus haut on aura

$$x\alpha \times 1 = (x - N)\alpha \times D \ (2).$$

Ce sont 2 inconnues x et D. comme x est une inconnue auxiliaire je l'éliminerai entre les deux équations.

L'équation (1) simplifiée donne

$$x = (x - 15) d$$

$$\text{ou } x = \frac{15 d}{d-1}. \ (3)$$

Portant cette valeur de x dans (2) on a

$$x = (x - n) D. \text{ D'où}$$

$$\frac{15 d}{d-1} = \frac{15 d D}{d-1} - n D$$

$$\text{D'où } D = \frac{15 d}{15 d - n(d-1)}$$

Avec cette formule on peut calculer la densité d'une dissolution de 9° d'eau et de 1° de sel = 1,116. Avec cette formule

est facile de déterminer la densité d'un liquide qui marque un certain nombre de degrés sur un 66° aréomètre de Beaumé, on a :

$$D = \frac{15 \times 1,116}{15 \times 1,116 - 66(1,116 - 1)} = 1,8 \; (SO^3, HO)$$

On opère de la même manière quand il s'agit d'un pèse-sels ; mais on doit connaître la densité du mélange.

Cartier a imaginé des aréomètres analogues aux aréomètres de Beaumé (surtout en industrie) qui n'en diffèrent que par le mode de graduation. Tandis que les aréomètres de Beaumé sont comparables entre eux et parce qu'ils sont gradués en plongeant dans un liquide à une température déterminée 12°,5.

Aréomètre centésimal de Gay Lussac.
Destiné à faire connaître la quantité d'alcool contenue dans une substance

d'eau et d'alcool. il ressemble au pèse-sel de Beaumé. il est lesté de façon que plongé dans l'eau pure il marque 0° puis on le plonge dans une dissolution contenant 95 d'eau et 5° d'alcool ($C^4H^6O^2$), on marque 5° au point d'affleurement; puis on le plonge dans une dissolution renfermant 90 d'eau et 10 d'alcool et on marque 10 et ainsi de suite de 5 en 5°. Comme on gradue à 15°C il faut se servir des tables de correction.

100 10 5

Il faut remarquer combien sont différentes les grandeurs des divisions déterminées ainsi par l'expérience [illegible] les degrés voisins du 0 sont beaucoup plus petits. Seulement, pour faire ces divisions (correction) il faut tenir compte de la contraction que subissent les liquides en se mélangeant: par ex. l'on met dans une éprouvette 50cc d'alcool puis on verse dans l'éprouvette assez d'eau pour obtenir 100cc. Alors en mettant

l'instrument dans ces 100^cc on marque 25. On divise l'intervalle entre 0 et 5 en 5 parties égales puis l'intervalle entre 5 et 10 en 5 parties égales etc et on constate que les divisions dans le voisinage de 0 sont beaucoup plus petites que vers 100.

De là il suit que si l'on plonge l'instrument dans un mélange d'eau et d'alcool et s'il marque 20° c'est qu'il y a 20° d'alcool dans un volume de 100^cc du mélange. Cet appareil ne peut être employé pour un mélange d'alcool et d'autres liquides. Cependant on s'en sert habituellement pour le vin, mais alors on est obligé de distiller le vin avec l'appareil de Salleron. Si le vin est faible on fait distiller 1/3 et on met les deux autres tiers d'eau; si le vin est généreux ou si on ne le connait pas on fait distiller 1/2 d'un certain volume et on verse l'autre demi d'eau. Les auteurs

produits sont formés d'un mélange d'alcool et d'eau et on admet que quand les 1/3 du liquide s'est réduit on retrouve tout l'alcool distillé; on prend donc 1/10 + 1/3 l'alambic de Gay-Lussac et on connaît la richesse alcoolique du vin.

Volumètres et Densimètres.

Les volumètres à poids constant doit être marqués ainsi que l'aréomètre [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] densimètres ou volumètres [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

Pour graduer ces volumètres [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

lesté de sable ou de plomb de façon qu'il s'enfonce dans l'eau pure jusqu'au point désigné et l'on marque 100. On le plonge ensuite dans un liquide dont la densité soit connue 4/3 par ex.; il s'enfonce d'une quantité moindre et le volume du liquide déplacé est le même dans les 2 cas (P=VD); les volumes déplacés sont en raison inverse des densités. Si le premier volume était représenté par 1, le second devrait être représenté par 3/4. Le 1er ayant été marqué 100 le 2e doit être marqué 75. On trace des intervalles en parties égales et l'on prolonge au-dessous les divisions jusqu'au bas de la tige.

Une méthode analogue pourrait être employée pour graduer les volumètres destinés aux liquides moins denses que l'eau. On préfère la suivante.

L'inst. ayant été lesté de façon que

l'instrument plongé dans l'eau jusqu'à la naissance de la tige et 100 ayant été marqué en ce point, on pèse l'instrument; on y ajoute ensuite momentanément une surcharge ayant p. ex. un poids égal au 1/4 du poids primitif. Le rapport du poids primitif au poids actuel est dans ce cas de 4/5; ce rapport est aussi celui des volumes d'eau déplacés. Donc, si l'on a marqué 100 au 1er point d'affleurement, on doit marquer 125 au 2e. En partageant l'intervalle en 25 parties égales et en prolongeant les divisions jusqu'au haut de la tige.

Si dans un liquide donné l'instrument s'enfonce jusqu'à la division 120 c'est qu'un volume [illegible] de l'instrument [illegible] 100 volumes d'eau et 120 volumes de ce liquide [illegible] donc [illegible] de ce liquide [illegible] inversement 120.

Un instrument ayant été gradué comme volumètre il est facile de déterminer immédiatement les indications de cet instrument fonctionnant comme densimètre.

En effet, dans le liquide que nous venons de prendre comme exemple, puisque 120 pour sa densité est $\frac{1}{1,20}$ ou $\frac{100}{120}$, elle se déduit donc en divisant 100 par le degré du volumètre. Il suffit donc de construire une table donnant pour les divisions successives du volumètre les valeurs de ces quotients, c-à-d les densités correspondantes. On peut aussi marquer ces nombres dans l'instrument lui-même, qui prend alors le nom de densimètre.

Densité des gaz

On nomme densité d'un gaz le rapport du poids d'un certain volume de ce gaz

au poids du même volume d'air, les 2 gaz étant pris dans les mêmes circonstances de température et de pression. Mais la densité du gaz définie comme on vient de l'indiquer n'est pas rigoureusement constante ; car, la relation établie plus haut $\frac{Vh}{1+\alpha t}$ = const n'est pas rigoureusement vraie parce que les lois de Mariotte et de Gay-Lussac sont modifiées par la température.

On dit alors que la densité d'un gaz est le rapport du poids d'1 volume de ce gaz à 0° et à 760 au poids du même volume d'air à 0° et à 760, c'est d'ailleurs ce nombre qui est [illegible] densités des gaz. Si l'on désigne par p le poids d'1 litre de ce gaz à 0° et à 760 et par a le poids d'1 litre d'air à 0° et à 760 on a $\frac{p}{a} = d$, d étant la densité du gaz ; d'où l'on déduit

$$p = a d$$

c.à.d. que le poids spécifique d'un gaz à 0

et à 760 est égal au poids spécifique de l'air à 0 et à 760 multiplié par la densité du gaz.

Si l'on désigne par V_0 le volume d'une masse de gaz à 0 et à 760 et P son poids, par p son poids spécifique on aura:

$$P = V_0 p$$

et comme on vient de dire que $p = a d$ on a

$$P = V_0 a d$$

c.à.d. que le poids de cette masse de gaz = son volume à 0 et par le poids spécifique de l'air et ensuite par la densité.

Mais si l'on donne un volume V de gaz à une temp. T et à une pression H, comme, ainsi qu'on l'a vu plus haut, on a

$$V_0 = V \times \frac{H}{760} \times \frac{1}{1+\alpha T}$$

si la densité du gaz est d son poids P sera

$$P = V \times \frac{H}{760} \times \frac{1}{1+\alpha T} \times a d\,!$$

Pour obtenir cette formule on a remplacé le volume V de gaz à T et à H par son volume ramené à 0 et à 760.

Si l'on veut trouver le poids d'une certaine masse d'air dont le volume est V, la temp. T il suffit dans l'expression précédente de faire t = T on a donc la formule très importante

$$F = V \times \frac{H}{760} \times \frac{1}{1+\alpha T} \times 1{,}293$$

Méthode de Regnault.

D'après la définition même de la densité des gaz, il suffit pour trouver la densité d'un gaz de diviser le poids d'un certain volume de gaz à 0° et à 760 par le poids du même volume d'air à 0° et 760. Le poids des fluides se rapporte à un ballon de [illegible] sous 760.

La méthode Regnault consiste à trouver le poids d'un certain volume de gaz à 0° et sous une pression de 760. On déduit ensuite par le calcul le poids de la même masse de gaz à 0

la loi est complètement vérifiée de Mariotte.
Regnault a pris pour cela 1 ballon de 10 litres de capacité environ. Le col du ballon est entouré d'une garniture métallique qui porte un robinet à 3 voies au dessus duquel est un robinet simple.

Le robinet à 3 voies permet de faire communiquer le ballon soit avec une machine pneumatique soit avec un récipient contenant de l'air, soit avec un appareil particulier appelé manomètre barométrique.

Ce manomètre se compose d'un 1 tube qui peut communiquer avec le ballon par l'intermédiaire du robinet à 3 voies et qui descend dans une cuvette contenant du Hg. A côté se trouve un tube barométrique ordinaire comme celui de Torricelli.

Cela étant on commence par mettre le ballon dans la glace fondante, puis à l'aide du tuyau A on fait commu-

rapide avec la mach. pneumat. on fait le vide et on laisse ensuite entrer dans le ballon le gaz sur lequel on veut opérer. Le gaz se dessèche en passant dans des tubes qui renferment des matières desséchantes.

[illegible] fait de nouveau le vide, on fait entrer le gaz [illegible] p.e. le O on fait le vide et ainsi de suite. Enfin on remplit une dernière fois le ballon de gaz, on mesure la pression du gaz au moyen du manomètre barométrique par la différence de niveau des 2 tubes qui plongent dans le Hg.

Le ballon étant bien fermé le robinet [illegible], on enlève le raccord, on essuie le ballon en évitant de le frotter pour éviter d'électriser sa surface et l'on pèse alors le ballon; mais pour que la pesée soit aussi exacte que possible on place sous l'autre plateau de la balance un ballon fermé vide du même [illegible] et de même [illegible] que le premier [illegible]

rigoureusement le même volume extérieur le
ballon qui a été décrit ; il est complète-
ment en verre ; et comme il est difficile d'a-
voir un ballon de même volume extérieur
on le prend un peu plus petit et on suspend
à son côté un [illegible] également aussi
de la même coulée et on s'assure que la somme
des 2 volumes est égale au volume extérieur du
ballon à robinet en constatant que, s'ils se
font équilibre dans l'air et que si on les
plonge dans l'eau l'équilibre n'est pas rompu.
[illegible] on suspend les 2
ballons aux plateaux d'une balance enfermée
dans une cage de vitrine ; la balance, les 2
contrepoids sur les plateaux et les ballons
sont dans la cage ; de cette manière ils subis-
sent les mêmes influences par la température,
l'état hygrométrique etc.
Dans cette 1re expér. c'est-à-dire avant
le ballon à robinet est plein de gaz et que

et le ballon est suspendu comme on l'a indiqué; on fait la tare en mettant des poids dans le plateau.

Cela fait, on enlève le ballon à robinet, on le porte dans la glace fondante, on y [illegible] le [illegible] et on y fait le vide aussi bien que possible; on reporte le ballon sous le plateau de la balance; il y a alors une diminution de poids qu'on évalue exactement à l'aide de poids marqués.

Si l'on désigne par p le poids qu'on vient de trouver, par H la pression du gaz quand il était enfermé dans le ballon et par ε la pression du gaz qui restait quand on y a fait le vide, pression qui était donnée par le manomètre, il est clair que ce poids p est le poids du volume d'~~air~~ contenu dans ce ballon à 0 et à H-ε. Cela posé, si l'on désigne par P le poids du même volume de gaz à 0° et à la pression de 760 millimètres [illegible]

directement proportionnels aux pressions on a

$$\frac{P}{p} = \frac{760}{H-\varepsilon} \text{ ; d'où } P = p \times \frac{760}{H-\varepsilon} \quad (1).$$

[illegible] le gaz du ballon, remplacé par de l'air sec en faisant le vide un même nombre de fois et faisant sur l'air les mêmes opérations que sur le gaz.

Si l'on désigne par p' le poids trouvé remplaçant le poids p, par H' et ε' les [illegible] remplaçant H et ε par P' le poids [illegible] P on a

$$P' = p' \times \frac{760}{H'-\varepsilon'} \quad (2)$$

D'où divisant P par P' on aura la densité d'inconnue du gaz :

$$d = \frac{P}{P'} = \frac{p}{p'} \times \frac{H'-\varepsilon'}{H-\varepsilon}.$$

Connaissant H, H', ε, ε' on peut calculer d

Détermination du poids d'un litre d'air.

Précédemment, on a trouvé pour le poids

de l'air qui remplit le ballon à 0° et 760

$$P' = p' \frac{760}{H'-e'}. \quad \text{Cherchons } p'.$$

Le ballon fut pesé ouvert, c.à.d. contenant de l'air identique à l'air extérieur; le poids obtenu π_1 représentait le poids apparent de la matière du ballon avec sa monture, dans les conditions t_1 et H_1 de l'air ambiant au moment de cette 1re expérience.

Le ballon fut alors rempli, à 0°, d'eau distillée privée d'air par l'ébullition. On ferma le robinet et comme on avait choisi pour cette expérience un jour où la température t_2 était inférieure à 8°, on put laisser le ballon reprendre la température ambiante, sans crainte de [illegible] ballon. On détermina alors son poids π_2. π_2 représentait la somme du poids apparent de la matière du ballon, monture et du poids apparent de l'eau dans les conditions t_2 et H_2 dans l'air ambiant au moment de cette 2e expér. La différence $\pi_2 - \pi_1$ exprimait le poids appar-

de l'eau, dans les conditions t_2 et H_2, en négligeant seulement la petite variation de poussée qu'a subi (?) la matière du ballon.

On avait donc, en désignant par q le poids réel de l'eau qui occupait à 0° le vol V_0 et par P_2 le poids du même volume d'air à la température t_2 et sous la pression H_2.

$$\pi_2 - \pi_1 = q - P_2 \quad (1).$$

Pour calculer P_2 on employait les données des expériences effectuées avec le ballon plein d'air sec à 0: en effet, p' étant le poids d'air qui remplit le vol V_0 à 0° et $H'-\varepsilon'$ on a:

$$P_2 = p' \times \frac{H_2}{H'-\varepsilon'} \times \frac{1}{1+at_2}$$

En tirant de l'équation (1) la valeur de q évaluée en kig. et divisant par la densité d_0 de l'eau à 0°, on avait le vol V_0 en litres.

$$V_0 = \frac{\pi_2 - \pi_1 + P_2}{d_0}$$

En divisant p' par P_0 on a 1,293.

Mesure de la capacité d'un vase.

On remplit le vase avec de l'eau à 0° et après l'avoir laissé se réchauffer on l'équilibre sur la balance avec une tare. Le poids de l'eau est dans l'air

$$\frac{V}{1+t_0} - Vx$$

On vide le vase, et le remettant dans la balance, on ajoute pour rétablir l'équilibre un poids apparent $P(1-\delta)$ qui est égal à celui de l'eau et on

$$\frac{V\delta}{1+t_0} - V\alpha = P(1-\delta) \text{ ce qui donne } V.$$

On augmente la sensibilité en jaugeant avec Hg. Soit D la densité de Hg qui est 13,596 on a

$$VD - V\alpha = P(1-\delta)$$

Hygromètre.

[illegible] de l'air ou fraction de saturation le rapport entre la force élastique de la vapeur d'eau contenue dans l'air au moment de l'observation et la force élastique maximum de la vapeur que cet air contiendrait

s'il était saturé; ou encore le rapport entre le poids de la vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air et le poids de la vapeur d'eau que cet air contiendrait s'il était saturé. Ces 2 définitions rentrent l'une dans l'autre; car si l'on désigne par p le poids de la vapeur d'eau contenue dans un volume V d'air, à la température t lorsque la force élastique de cette vapeur est f on sait qu'on a

$$p = V \frac{1}{1+\alpha t} \frac{f}{760} \times 1,293 \times 0,622. \text{ (en litres } \ldots\text{)}$$

Si l'on désigne par P le poids de vapeur que contiendrait le même volume d'air s'il était saturé en représentant par F la force élastique de la vapeur quand l'espace est saturé à la température t, le poids sera

$$P = V \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{F}{760} \times 1,293 \times 0,622$$

si l'on divise ces 2 quantités l'une par l'autre en appelant e l'état hygrométrique

ou la fraction de saturation on a

$$e = \frac{f}{F} = \frac{V \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{f}{760} \times 1{,}293 \times 0{,}622}{V \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{F}{760} \times 1{,}293 \times 0{,}622}$$

D'où $e = \frac{f}{F} = \frac{t}{F}$ donc les 2 définitions n'en font qu'une.

Pour déterminer l'état hygrométrique on se sert d'hygromètres. Ils sont de 3 espèces 1° les hygromètres à absorption, 2° à condensation, 3° les hygromètres chimiques.

1° Absorption

Certaines substances comme les cordes à boyau, les cheveux s'allongent quand elles sont humides et se raccourcissent par la sécheresse. On construit des hygromètres en fixant les 2 extrémités d'une corde à boyau au cylindre d'un moine. Quand l'air est humide le

ce bouchon se retire quand il est sec, l'expo-
chose se lève.

L'hygromètre d'absorption que l'on emploie le plus souvent est l'hygromètre de Saussure ou à cheveu.

Il se compose essentiellement d'un cheveu qu'on a dégraissé par plusieurs lavages. L'une des extrémités du cheveu est attachée à une pince fixée à la partie supérieure d'un cadre. L'autre extrémité s'enroule sur une poulie. Sur une gorge de la poulie est un fil de soie portant un poids très faible et destiné à tendre continuellement le cheveu. L'axe de la poulie porte une aiguille qui se meut autour de son centre de gravité et qui parcourt un cadran divisé. La sécheresse fait marcher l'aiguille vers la gauche du cadran et l'humidité vers la droite.

Pour que cet appareil puisse servir on doit

d'abord déterminer le point d'humidité extrême.

Pour cela, on met tout l'appareil sous la cloche dont les parois sont humectées et au bas de laquelle se trouvent des éponges mouillées. Au bout de 1 jour ou 2 l'aiguille s'arrête en un point où l'on marque 100. On pourrait déterminer de même le point de sécheresse extrême en mettant l'appareil dans une cloche renfermant une grande quantité de substances desséchantes. ($CaCl$ desséché) (SO^3, HO) (PhO^5, HO) &c. Mais Regnault ayant trouvé que la détermination de ce point était très chanceuse on ne le détermine plus.

Mais il n'y a aucune relation simple entre le degré de l'hygromètre et l'état hygrométrique que l'on veut déterminer, il faut donc déterminer l'état hygrométrique correspondant à une division donnée car si l'hygromètre marque 50, ou 75 l'état hygrométrique n'est pas 1/2 ou 3/4.

Regnault ayant constaté que les hygromètres n'étaient pas comparables entre eux, puisque les cheveux diffèrent, il faut opérer sur chaque instrument en particulier.

Pour cela, on emploie la méthode indiquée par Gay-Lussac et modifiée par Regnault.

On a remarqué que les dissolutions de (SO^3, HO) émettent d'autant plus de vapeur d'eau qu'elles sont moins concentrées.

Cela étant on fait un mélange de (SO^3, HO) et d'eau dans des proportions connues, on fait passer une partie de ce mélange dans le baromètre à vapeur de l'appareil de Dalton et on détermine ainsi la force élastique f de la vapeur qu'émet ce mélange.

Cela étant on expose l'hygromètre à la vapeur du mélange et on constate que l'aiguille s'arrête à la division n : on note la température de l'eau contenue dans le manchon

de Dalton, on cherche dans les tables de Regnault la force élastique maxima F à la vapeur d'eau correspondant à cette température et on dit que si l'hygromètre marque n divisions l'état hygrométrique est $\frac{f}{F}$. On fait plusieurs dissolutions de 90s 10 dans des proportions différentes; on opère de la même manière et par un grand nombre d'observations semblables on obtient les différents états hygr. de l'air pour différents degrés de l'hygro. les états hyg. des autres divisions s'obtiennent à l'aide d'une construction graphique. Pour ne pas fatiguer le cheveu quand l'appareil ne fonctionne pas il se trouve un petit bout qui ôte sa tension.

2° H. à condensation.

[illegible] [illegible] de l'hyg. à condensation de Daniell.

Cet appareil se compose d'1 tube en verre

2 fois recourbé à angles droits; chaque ex-
trémité du tube est fermée par une boule;
la boule A est en verre bleu et B est entourée d'une
gaze; le tube est porté sur un pied sur lequel
se trouve attaché un thermomètre T. Dans l'intérieur
de la boule A se trouve un autre thermomètre T'.
Avant de fermer le tube à la lampe on a in-
troduit dans l'appareil de l'éther et on a chassé
l'air.

Quand on veut faire une expérience avec
cet instrument on commence par faire passer
tout l'éther dans A et on observe la tempé-
rature à l'aide du thermomètre T.

Cela fait, on verse de l'éther sur la gaze goutte
par goutte. Celui-ci en s'évaporant refroidit la
boule B. L'éther de A passe dans B ce qui
refroidit la boule A; on observe avec soin
l'aspect de la boule bleue et on note la
température à laquelle la vapeur com-
mence à se déposer sur la boule A; cette

1.

température t est le point de rosée. La température t est donnée par le therm. intérieur T.
Ainsi la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air est capable de saturer cet air à la température t; on regarde dans les tables de Regnault la force élastique de la vapeur d'eau à la température t et on a ainsi f; on regarde dans les mêmes tables la force élastique maxima F de la vapeur d'eau à la température ambiante T et $\frac{f}{F}$ donne l'état hygrométrique.

Remarque. Comme le verre conduit très mal la chaleur la température t qui indique le point de rosée est un peu trop basse c'est à dire [illegible] à cette température. Pour avoir le point de rosée [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]

du dépôt de rosée $\frac{t'+\theta}{2}$.

Remarque 2. Les indications données par cet hygromètre ne sont pas exactes parce que l'observateur par sa respiration et l'éther par son évaporation introduisent toujours dans l'air où il se fait l'expérience une certaine quantité de vapeurs d'eau. Pour remédier à cet inconvénient Regnault a modifié l'appareil ainsi qu'il suit.

Sur un pied il a placé deux éprouvettes en verre tout à fait identiques, les a terminées à leurs bases par des dés d'argent. De cette façon si la vapeur se dépose sur l'un des 2 dés, en regardant les 2 dés en même temps à une certaine distance, on remarque une teinte [illegible] que dans l'hygro de Daniell la rosée se déposer.

Dans l'une des éprouvettes A, où se trouve aussi un thermomètre, il a mis de l'éther. L'éprouvette étant fermée par un bouchon il introduit dans l'éprou

rette un tube qui descend jusque dans l'éther.
Dans le même bouchon se trouve un autre tube
qui ne plonge pas dans l'éther et qui, au
moyen d'un caoutchouc communique avec
un [illegible] [illegible] [illegible] l'eau de
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] l'éther [illegible]
[illegible] en se [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] il est suffisamment refroidi la
vapeur se dépose sur le dé A.
On note exactement la température à laquelle le
dépôt de rosée se produit. Cette température, extérieure
[illegible] [illegible] dans A et B à l'aide des
[illegible] [illegible] [illegible] comme dans l'ap-
pareil précédent l'état hyg.
[illegible]

Calorimétrie.

La calorimétrie a pour but de déterminer la quantité de chaleur dont l'absorption ou le dégagement occasionne pour les divers corps des effets déterminés.

Elle est divisée en 2 parties. Dans la 1re on s'occupe des chaleurs spécifiques c. à. d des quantités de chaleur nécessaires pour produire des variations de tempéra. sensibles aux thermomètres. Dans la 2e on traite des chaleurs latentes c. à. d des quantités de chaleur nécessaires pour produire des changements d'état.

Première Partie.

Chaleurs Spécifiques. C. S.

La détermination des C. S. repose sur deux principes:

1°. La même quantité de chaleur nécessaire pour élever différents poids d'un même corps d'un même nombre de degrés est

-portionnelle au poids du corps; c'est là un principe évident car, s'il faut une certaine quantité de chaleur pour élever la tempé. d'1 kilog. d'un corps de 0 à 4° il est évident que pour élever d'un même nombre de degrés 2, 3, 4 kilog. du même corps il faudra 2, 3, 4 fois plus de chaleur.

2° La quantité de chaleur nécessaire pour élever un poids d'un corps de 0 à 4° est la même que celle qu'il abandonne quand sa température s'abaisse de 4° à 0. En effet, si on mêle 1 kilog d'eau à 41° avec 1 kg d'eau à 21° on constate que la tempéra. du mélange est de 31°. Il en résulte que le 2° kilog s'est élevé de 10° et que le 1° s'est abaissé de 10°, par conséquent comme l'échauffement est produit par le refroid. d'une plus chaude il résulte que la proposition est démontrée. De là on conclut que la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer un corps d'un certain

nombre de degrés est proportionnelle à l'élé-
vation de température. Si on veut obtenir puisque
dans l'expérience précédente 1kg à 40° en
passant à 30° a abandonné toute la chaleur
qu'il avait fallu lui donner pour passer de 30° à 40°.

On appelle unité de chaleur ou calorie
la quantité de chaleur nécessaire pour élever
de 1° la température de 1kg d'eau ou 1gr selon qu'on veut.

Pour élever des poids égaux de différents
corps d'un même nombre de degrés il faut
des quantités inégales de chaleur.

On peut le montrer de la manière suivante:
si on mélange 1kg de cuivre à 100° avec 1kg
d'eau à 0° on trouve que la tempéra. finale
est seulement de 9°. donc pour faire passer
1kg d'eau de 0° à 9° il a fallu que la tempéra.
d'1kg de Cu s'abaissât de 91°.

De là on a été amené à chercher les
chaleurs spécifiques des différents corps ou
encore leur capacité calorifique. On appelle

chaleur spécifique d'un corps la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° 1Kg de ce corps.

Pour déterminer ces C S on peut employer 2 méthodes 1° la méthode du bloc de glace ou du calorimètre de glace 2° celle des mélanges.

Première méthode

fondée sur la fusion de la glace.

La quantité de chaleur nécessaire pour fondre 1k de glace est représentée par 79,25 calories.

Le corps est chauffé à une température P. on prend un gros bloc de glace dans lequel on creuse une cavité; puis on essuie la cavité rapidement avec du papier buvard, on introduit le corps chaud et on recouvre le tout à l'aide d'une lame de glace.

De cette manière en se refroidissant le corps chaud fait fondre une partie de la glace qu'on peut ensuite amener à 0° en la portant dans une chambre dont la température

était inférieure à 0°. Quand le corps est à 0° on enlève le couvercle puis le corps; on éponge l'eau provenant de la fusion à l'aide d'un buvard préalablement pesé. L'augmentation de poids p donne le poids de l'eau provenant de la fusion.

Pour trouver la chaleur spécifique x du corps de poids P on écrit que la quantité de chaleur perdue est égale à la quantité de chaleur gagnée. Pour cela, on dit: quand la température d'1 kg du corps s'abaisse de 1°, par définition, il perd une quantité x de chaleur; si sa température s'abaisse de T° (puisque le corps passe de T° à 0°) la quantité de chaleur perdue par 1 kg du corps est xT et comme le poids du corps est P la quantité de chaleur perdue est

$$PxT.$$

Or, cette quantité de chaleur a servi à fondre p kgs de glace et pour obtenir

cette fusion il a fallu un nombre de calories représentées par $79,25\,p$.

On a donc $P x T = 79,25\,p$

D'où $x = p \times \dfrac{79,25}{P \times T}$

Laplace et Lavoisier ont modifié l'expérience précédente comme il suit :

Ils ont pris un vase formé de 3 enveloppes concentriques. Dans la 1re percée de trous on met le corps chaud ; dans la 2e qui entoure la 1re on met des morceaux de glace à 0° et l'eau provenant de la fusion de cette glace peut s'écouler par un tuyau muni d'un robinet R. Cette 2e enveloppe est entourée d'une 3ème dans laquelle on met aussi de la glace et l'eau provenant de la fusion s'écoule par un robinet V.

Quand on fait l'expérience le tout est recouvert d'un couvercle à rebords dans lequel on met aussi de la glace. La glace

qui est tout le courant, et celle de la 3ème enveloppe ont pour but d'empêcher l'air extérieur de faire fondre la glace contenue dans la 2ème enveloppe. On pèse l'eau qui s'écoule de la 2ème enveloppe et on aura le poids p de glace fondue par le corps chaud et on a comme plus haut

$$P \times T = p \times 79{,}25$$

Ces méthodes ne sont pas très exactes parce que dans le 1er cas on n'est pas sûr que tout le morceau de glace soit à 0° et dans le 2e cas il reste toujours entre les morceaux de glace contenue dans la 2e enveloppe une certaine quantité d'eau qui ne s'écoule pas.

Pour déterminer la C S des corps, on emploie encore la méthode des mélanges imaginée par Black et perfectionnée par Regnault.

2e Méthode. Procédé de Regnault.

Imaginons qu'on ait un certain poids P

d'un corps, qu'on le porte à T°, puis si on l'introduise dans une masse d'eau M dont la température est t et si au bout d'un certain temps le mélange prend une température constante ou finale θ, il est évident que la quantité de chaleur abandonnée par le corps est égale à la quantité de chaleur gagnée par l'eau.

Or, si la température du corps étant abaissée de T° à θ° le corps a perdu une quantité de chaleur représentée par

$$Px(T-\theta);$$

la température étant élevée de t° à θ° le poids d'eau M absorbera une quantité de chaleur représentée par

$$M(\theta - t)$$

puisque la capacité calorifique de l'eau est 1. On donc

$$Px(T-\theta) = M(\theta - t)$$ d'où on tire x.

C'est là le principe de la méthode des mélanges. Pour l'employer il faut d'abord

connaître exactement la température T.
Pour cela pour échauffer le corps, Regnault se sert d'une étuve à 3 compartiments cylindriques ayant le même axe.
Dans le compartiment central on suspend à l'aide d'un fil une petite corbeille en laiton dans laquelle on met le corps concassé en petits fragments; dans l'intérieur de la corbeille on a ménagé à l'aide d'un treillage en laiton un petit espace dans lequel on introduit un thermomètre. Ce thermomètre est arrêté dans le bouchon qui ferme la partie supérieure de l'appareil et dans ce bouchon passe aussi le fil qui porte la corbeille.

Dans le compartiment A du milieu on fait arriver de la vapeur d'eau échauffée par une chaudière C. Cette vapeur en sortant du con-

A

B C

C

S

b. c. fils

-partiment se vide dans un serpentin où elle se refroidit et se condense; enfin le compartiment extérieur contient de l'air destiné à s'opposer à la déperdition de la chaleur. Dans la boîte B. C. on fait couler de l'eau froide afin de s'opposer à la transmission de la chaleur provenant de l'air et du générateur. Tout l'appareil repose sur une espèce de boîte formant équerre et dans laquelle circule un courant d'eau à la tempé-rature ordinaire. Cette boîte est percée d'un trou central qui se trouve au dessous de la corbeille et qui est fermé par un registre. La boîte à eau a pour but d'empêcher la chaleur provenant de la chaudière et celle provenant de la vapeur de passer sur la droite de la figure.

En outre à droite de l'appareil se trouve un écran E qu'on peut lever ou baisser à volonté. A droite de l'écran se trouve un calorimètre T avec bidon contenant de l'eau froide. Placé sur une espèce de pupitre. Tout le système repose

sur un rail. A l'aide d'une ficelle on peut soulever en même temps l'écran E et amener le calorimètre au-dessous du registre.

Cela étant, après avoir mis le corps dans la corbeille on fait arriver la vapeur et quand le corps a pris une tempé. constante T indiquée par le therm. qui traverse le bouchon on lève l'écran, on amène le calorimètre au-dessous du registre, on enlève le registre, on coupe le fil qui soutient la corbeille; celle-ci tombe dans le calorimètre, on remet le registre, on ramène le calorimètre à sa place primitive, on abaisse l'écran et on observe la tempé finale du mél. ange et de là il faut déduire le C S du corps.

Pour cela il faut écrire que la quantité de chaleur perdue est égale à la quantité de chaleur gagnée en tenant compte des causes qui interviennent dans le phénomène.

Soit P le poids du corps, x sa C S, T sa tempé dans l'étuve, θ la tempé finale

du mélange, le corps a perdu dans le mélange une quantité de chaleur $Px(T-\theta)$.

Soit p le poids de la corbeille en laiton, c la capacité calorifique du laiton supposée connue, la quantité de chaleur abandonnée par la corbeille est $pc(T-\theta)$
en sorte que la quantité de chaleur fournie au calorimètre est représentée par la formule

$$Px(T-\theta)+pc(T-\theta) \text{ ou } (Px+pc)(T-\theta).$$

Si M est la masse d'eau contenue dans le calorimètre, et t est la temp. de cette eau au commencement de l'expérience, la quantité de chaleur gagnée par l'eau est $M(\theta-t)$.

Si p_1 est le poids du vase servant de calorimètre, supposé en laiton, dont c est la C.S. la quantité de chaleur gagnée par le calorimètre sera $p_1c(\theta-t)$.

Soit p_2 le poids du Hg qui se trouve dans le thermo. plongeant dans l'eau du calorimètre, c_2 la C.S. du Hg, la quantité de chaleur gagnée

par le Hg sera $p_2 c_2 (\theta - t)$.

Soit p_3 le poids du verre du thermomètre qui plonge dans l'eau. c_3 sa CS. la chaleur gagnée par le verre sera $p_3 c_3 (\theta - t)$ (on fois on ajoute encore le poids d'un agitateur) ensorte que la chaleur gagnée par le calo. et le therm. est

$$M(\theta - t) + p_1 c(\theta - t) + p_2 c_2 (\theta - t) + p_3 c_3 (\theta - t)$$

ou $(M + p_1 c + p_2 c_2 + p_3 c_3)(\theta - t)$; d'où l'équation du problème sera

$$(P_2 + pc)(T - \theta) = (M + p_1 c + p_2 c_2 + p_3 c_3)(\theta - t); \text{ d'où } x.$$

Il faudrait tenir compte de la perte de chaleur que subit le calo. par conductibilité. Pour éviter cette perte, on met le calo. sur 2 fils de soie croisés et maintenus à l'aide de bouchons.

On devrait aussi tenir compte de la chaleur perdue par le calo. par rayonnement. Pour éviter les calculs de cette perte on polit le vase formant calo. à l'extérieur puis on le met dans un vase plus grand portant les

$M + p_1 c + p_2 c_2 + p_3 c_3$ s'appelle souvent valeur du calo. en eau c. à d. que cette quantité représente le poids d'eau qui absorberait la même quantité de chaleur que l'eau du calo, le vase du calo, le Hg et le verre du thermo.

fils croisés et poli à l'intérieur; alors le 2e rayon envoie sur le calo. la chaleur que celui-ci peut d'abord lui envoyer.

Mais il faut tenir compte de la chaleur perdue par le calo. puisqu'il se trouve placé dans un espace qui n'a pas la même tempé. que lui. On est convenu pour cela d'employer la méthode des tempé. compensées. A cet effet on prend l'eau du calo. à une tempé. inférieure à celle du milieu ambiant et on choisit cette temp. de façon que la tempé. finale s'élève au dessus du milieu ambiant du même nombre de degrés que la tempé. de l'eau était au-dessous du milieu ambiant.

Cette tempé. initiale de l'eau est déterminée par une expé. préliminaire. On admet que pendant la première partie de l'expé. c.à.d. pendant que la tempé. de l'eau s'élève jusqu'à celle du milieu ambiant la quantité de chaleur gagnée = la quantité de chaleur perdue pendant que celle-ci a la tempé. supérieure à celle du

laboratoire; en sorte que pour connaître la C S d'un corps, si on prend la précaution indiquée il suffit de déterminer x par l'équation précédente.

Lorsque l'on veut déterminer la C S d'un corps liquide on emploie la méthode des mélanges. On enferme le liquide dans une ampoule en verre qu'on a pesée préalablement et pour avoir la CS cherchée il suffit d'ajouter au premier membre de l'équation un terme représentant la quantité de chaleur perdue par le verre de l'ampoule.

La CS d'un corps solide dépend de l'état dans lequel il se trouve ainsi la CS du CaO, CO^2 n'est pas la même suivant que ce corps est cristallisé sous la forme de spath ou d'aragonite ou lorsqu'il est à l'état de craie.

Cette CS dépend aussi de la tempre du corps et ceci est surtout sensible dans les liquides.

Pour obtenir la C S des gaz on emploie aussi la méthode des mélanges. Pour cela on fait passer avec une vitesse constante un gaz

dans un serpentin entouré d'eau froide. on note la tempé au commencement de l'expé, puis à la fin et de là on déduit la quantité de chaleur perdue par le gaz. On peut opérer soit en maintenant la pression constante ou le volume constant.

Dulong et Petit ont trouvé une loi simple qui établit une relation entre la C S des corps et leur poids atomiques; ils ont constaté que si l'on multiplie la chaleur spécifique d'un corps simple par son poids atomique on a un nombre qui est à peu près toujours le même 6. Cette loi peut dans certains cas servir en Chimie pour déterminer l'équivalent chimique d'corps, lorsque l'on hésite entre des nombres très différents. Ainsi l'équivalent d'un corps pouvant être représenté souvent par des nombres constants comme 14. 28 &c. Alors au moyen de la loi de Dulong et Petit on prend le nombre qui multiplié par C S du corps donne le nombre constant.

De la Rive ... déduit par une hypothèse

très simple de C.S. d'un composé de celle des éléments. Si on désigne par A, a, a' les équivalents d'un composé et de ses éléments, par m, m' les nombres d'atomes entrant en combinaison, on a

$$A = ma + m'a' ..$$

Woestyn admet qu'on doit avoir

$$AC = mac + m'a'c' ...$$

C, c, c' désignant les C.S. Mais ac, a'c' = 6 donc

$$AC = 6(m + m' + ...)$$

Les expériences faites ont conclu que la quantité de chaleur q nécessaire pour faire passer un corps de 0 à t° est représentée par la formule

$$q = At + Bt^2 + Ct^3$$

S'il s'agit de l'eau on a

$$q = t + 0,00002\, t^2 + 0,0000003\, t^3.$$

Chaleur latente.

On appelle chaleur latente de fusion ou simplement chaleur de fusion la quantité de chaleur qu'il faut à l'unité de poids d'un corps

pour le transformer en liquide sans élévation de température.

Nous indiquerons d'abord comment Desains et de La Provostaye ont déterminé la chaleur de fusion de la glace.

Ils ont employé la méthode des mélanges. Ils ont pris un bloc de glace qu'ils ont placé dans une chambre dont la temp. était légèrement supérieure à 0°. Quand la glace avait pris la temp. de la chambre ils l'ont essuyé rapidement avec du papier buvard pour enlever l'eau provenant de la fusion, puis ils ont introduit cette glace dans un vase formant calo, on agite le tout de manière à hâter la fusion de la glace ils ont noté la temp. finale θ du mélange. De là on déduit la chaleur de fusion de la glace.

Soit M la masse d'eau qui se trouvait primitivement dans le calo, soit t sa tempre, en passant de t à θ cette masse a perdu $M(t-\theta)$ si p, c sont le poids et la C S du vase, ce vase

a perdu une quantité de chaleur représentée par $-pc(t-\theta)$ en sorte que la quantité de chaleur perdue par l'eau et le calo est

$$(M+pc)(t-\theta).$$

Soit P le poids de la glace employée, le poids s'obtient en pesant le calo avant d'y avoir introduit la glace et après la fusion de cette glace. P est la différence des 2 poids; si on désigne par x la chaleur de fusion de la glace, la glace pour fondre a absorbé Px; en outre, comme l'eau provenant de la fusion s'est élevée à θ la quantité de chaleur gagnée par cette eau est $P\theta$; en écrivant que la quantité de chaleur gagnée par l'eau et la glace = la quantité de chaleur perdue par l'eau et le calo on a

$$(M+pc)(t-\theta) = Px + P\theta$$

$(M+pc)(t-\theta)$ représente aussi la valeur du calo en eau.

Déterminons la chaleur de fusion des autres corps.

1e cas Supposons d'abord que le corps soit liquide à la tempé ordinaire ; on prend ce corps à l'état liquide, on le met dans de l'eau froide, il se solidifie, on note la tempé finale du mélange et de là on déduit sa CS.

Soit P le poids du corps sur lequel on opère, c sa CS à l'état liquide (ce qui est très différent) T sa tempé, T' la tempé de sa solidification, soit comme plus haut M la masse d'eau du calo, p, C, le poids et la CS du calo, c' soit la CS du corps à l'état solide ; écrivons que la quantité de chaleur perdue = la gagnée. Quand le corps passe de la tempé T à la tempé de sa solidification T' il abandonne une quantité de chaleur donnée par Pc(T-T'). en passant de l'état liquide à l'état solide il perd Px calories si x est sa chaleur de fusion en passant de T' à θ il abandonne Pc'(T'-θ). Maintenant la tempé de l'eau du calorimètre s'élevant de t à θ elle gagne

$$(M + p_1 c_1)(\theta - t) \text{ et on a}$$

$$Pc(T - T') + Px + Pc'(T' - \theta) = (M + p_1 c_1)(\theta - t) \text{ d'où } x.$$

2e Cas. Si le corps est à l'état solide à la temp ordinaire on le met dans l'eau chaude, on détermine la fusion, on note la temp finale du mélange et de là on peut déduire la C S du corps.

Soit P le poids du corps, c sa C S à l'état solide, t la temp du corps, t' la temp de sa fusion, c' sa capacité calo à l'état liquide, θ la temp finale du mélange et soit M, p_1, c_1 la masse d'eau du calo, le poids du calo et sa C S. La quantité de chaleur prise par le corps montant de t à t' est $Pc(t' - t)$ puis la quantité de chaleur qu'il absorbe pour fondre est Px (x étant la C de fusion) et la quantité de chaleur que le corps fondu absorbe pour passer de t' à θ est $Pc'(\theta - t')$.

La quantité de chaleur perdue par le calo est $(M + p_1 c_1)(T - \theta)$ si T est la tempé

initiale de l'eau et 1 on a

$$Pc(t'-t) + Px + Pc'(\theta - t') = (\mu + p_1 c_1)(T - \theta).$$

Pour trouver au moyen de cette équation la chaleur spécifique de la vapeur il suffit de supposer $t = 1$ $t' = 1$ et l'on a l'équation indiquée comme résultat des expériences de Regnault.

Chaleur latente de vaporisation.

On appelle chaleur latente de vaporisation ce que devient la quantité de chaleur nécessaire pour faire passer l'unité de poids d'un liquide à l'état de vapeur saturante sans élévation de température. Ainsi de 40 à 100° la chaleur latente est la quantité de chaleur qu'il faut pour faire passer cette eau à 100° à l'état de vapeur saturante.

Despretz a mesuré cette chaleur de vaporisation par le procédé suivant:

Le petit bouillir de l'eau dans une cornue. Cette cornue débouchait dans un serpentin recouvert par une boîte dont le fond était incliné ; le serpentin et la boîte étaient enfermés dans un réfrigérant contenant de l'eau et de la partie supérieure de la boîte partait un tuyau vertical débouchant à l'extérieur et à l'aide duquel on pouvait exercer sur l'eau de la cornue une certaine pression de façon à faire varier la température d'ébullition.

Il chauffait ainsi l'eau de la cornue de façon à en réduire en vapeur un certain poids P qu'on obtenait en pesant l'eau enfermée dans le serpentin et provenant de la condensation. Il notait la température de l'eau du réfrigérant.

Cela étant, si on désigne par P le poids de la vapeur d'eau ainsi condensée, par T la température d'ébullition, par t la température initiale de l'eau du réfrigérant, par M la masse d'eau du réfrigérant, par p, c, le poids du serpentin.

et la mélange qui constitue le réfrigérant, pour écrire que la chaleur perdue = la chaleur gagnée on aura donc :

Soit x la quantité de chaleur de vaporisation pour passer de l'état de vapeur à l'état d'eau la quantité de chaleur dégagée sera Px.
Cette eau en passant de T à θ a perdu $P(T-\theta)$; d'autre part le réfrigérant et le métal du réfrigérant ont gagné [illegible] $(M+pc)(\theta-t)$ t étant la temp^re initiale de l'eau et du vase

$$Px + P(T-\theta) = (M+pc)(\theta-t)$$

Pour empêcher la chaleur du fourneau d'arriver au réfrigérant on place entre le fourneau et le réfrigérant un écran en bois. Mais cet écran ne l'empêche pas la chaleur de passer directement par conductibilité, de là erreurs [illegible] causes d'erreur.
Une 2e cause tient à ce que la vapeur en passant dans le serpentin peut entraîner avec elle les gouttelettes d'eau non vaporisée [illegible]

...milie à la fin de l'expérience est plus grand que le poids de la vapeur qui s'est condensée dans le calo. Il est clair qu'en dans l'expérience bien faite on ne doit laisser entrer de vapeur d'eau dans le calo que quand le liquide est en ébullition. Il faut pour cela...

... avait à déterminer la chaleur latente de vaporisation à un très grand nombre de temp. et pour éviter que la vapeur d'eau entraîne des gouttelettes, cette vapeur, avant de sortir de la chaudière dans laquelle elle se produit, passe dans un tube plongé dans la vapeur. De cette manière les gouttelettes sont repoussées. Reunault [illegible] 2 calo construits de [illegible] et de [illegible]; l'un des 2 calo fonctionnait seul et l'influence du milieu ambiant était déterminée par des observations faites sur le 2e calo.

Chaleur latente de vaporisation de l'eau.

On appelle chaleur latente de vaporisation de l'eau à une temp. déterminée la quantité de chaleur qu'il faut donner à 1kg d'eau pour la porter de 0 à t° et pour la transformer ensuite en vapeur à la même température.

Regnault a trouvé que cette quantité était variable. Les résultats de ses expériences qu'il a obtenus peuvent s'exprimer ainsi, en désignant par l la quantité totale de chaleur ~~latente~~ et par t la temp. correspondante on a

$$l = 606,5 + 0,305\,t.$$

Au moyen de cette formule on peut trouver la chaleur latente de vaporisation à la temp. t. Il faut observer que cette chaleur latente est donnée par la chaleur totale diminuée d'un nombre de calories représenté par t puisqu'il faut t calories pour élever la temp. d'1kg d'eau de 0° à t°. On a donc

Chaleur latente = chaleur totale − t.

Et comme la chaleur totale est représentée

pour $606,5 + 0,305\,t$ on a

chaleur latente $= 606,5 + 0,305\,t - t$

$= 606,5 - 0,695\,t.$

Si on fait dans la formule $t = 100°$ on a pour la chaleur latente de l'eau

$606,5 - 69,5 = 537$ calories

Chaleur dégagée dans les combinaisons chimiques

Pour la mesurer on peut employer le calor. à Hg de Favre et Silbermann. C'est un thermo. à Hg dont la boule volumineuse sert de calo. Il se compose d'un vase assez grand en fonte ayant une forme sphérique qu'on remplit de Hg et dans la partie supérieure se trouve ajusté un gros tuyau dans lequel se meut un piston. Sur la paroi du vase se trouve un tube en verre AB qui s'élève verticalement, se recourbe en B. dans cette partie horiz. on ajuste un tube en verre qui remplace la tige du thermo. Dans l'intérieur de la boule sphérique pénètrent

plusieurs par tubes dans lequel il se produit des réactions chimiques. Pour éviter l'influence de la temp. ambiante on enferme le tube sphérique dans une boîte dans laquelle on met de la ouate.

Cela fait, on met dans l'un des tubes les substances qui doivent agir chimiquement les unes sur les autres. Alors il se dégage une certaine quantité de chaleur qui échauffe le Hg de la boule sphérique. Le Hg s'avance dans le tube [illegible] et d'après [illegible] déplacement du Hg dans le tube on détermine la quantité de chaleur fournie par la réaction. Seulement, au commencement de l'expérience on enfonce le piston placé au haut de manière à amener l'extrémité du Hg en un point qui se trouve sur le tube au zéro [illegible] et pour [illegible] on entoure [illegible] dans la [illegible] dans laquelle on fait les expériences [illegible] chauffée [illegible] déterminer [illegible]

ainsi à la fois la quantité de chaleur abandonnée par l'eau et le nombre des divisions dont s'avance le volume du Hg; par suite on peut connaître à quelle fraction de calorie correspond une division du tube. Cet appareil est très sensible à cause de la grande masse de Hg employée et la faible C S de ce métal.

M Berthelot qui a repris ces expériences préfère employer le calo à eau et la méthode des mélanges.

M Joule a trouvé que la quantité de travail nécessaire pour produire une quantité de chaleur équivalente à une calorie est 425 kilog.

Météorologie

On nomme ainsi l'étude des phéno. phys. qui se passent à la surf. de la terre ou ds l'atmosphère; on s'y occupe des variat. de temp. et de press., des vents, pluies, magnétisme terrest. etc. On divise la matière en 2 parties 1° la climatologie qui s'occupe de tous les phéno. réguliers produits dans un pays déterminé 2° la météo dynamique qui s'occupe [illegible] des tempêtes, leur mode de formation etc.

Moyennes

Qd on observe le baro ou le thermomètre on fait des obs. à chaque heure du jour, on divise la somme de ceux-ci par 24 on a la moyenne du jour. En faisant la somme des moyennes des jours du mois et divisant par 30 on a la moyenne du mois. On obtient d'une manière analogue la moyenne d'une année et les moyennes séculaires.

Température de l'air

Elle présente des variations régulières. Elle [illegible] depuis le lever du soleil jusqu'à 2h du soir, puis baisse jusqu'au lever. Avec les temps [illegible] on peut [illegible] maxima et minima; l'amplitude de la variation diurne change avec l'état de l'atmos., avec les saisons, elle varie avec [illegible]

lieu à un autre. Ces variations se poursuivent sur les bords de la mer.

Dans les latitudes moyennes comme celle de Paris le temps le plus bas est vers le 1er Janvier et le plus haut vers le 1er Juillet. Dans les régions moyennes comme en France le mois le plus froid est janvier et le plus chaud juillet; l'époque du minimum et du maximum de temp. ne coïncident pas avec les solstices.

Cela tient à ce que comme d'autres sans lumière on doit tenir compte de la quantité de chaleur emmagasinée par la terre et produite par les rayons solaires. A Paris le temp. moy. de l'année est 9°9.

Dans les climats marins qu'on appelle aussi réguliers les variations annuelles sont aussi faibles que les variations diurnes.

Dans les climats extrêmes ou continentaux les variations sont très grandes.

On appelle lignes isothermes des lignes menées sur une carte par tous les points dont le temp. est le même. Il y a des lignes isothermes annuelles qui donnent le temp. moy. de l'année pour chaque pays.

Les lignes isothères qui donnent le temp. moy. d'été et les lignes isochimènes — — — — — d'hiver.

Si on s'élève dans l'atmosphère on trouve que la température s'abaisse à mesure qu'on monte. L'abaissement de température varie suivant les saisons. On conçoit qu'il ne peut [illegible] dans les hautes régions [illegible] trouver une couche de neige [illegible] la température [illegible] au-dessous de 0, [illegible] ce qu'on appelle la limite des neiges perpétuelles. Cette limite varie avec les différents pays.

Les eaux de la terre ne transmettent qu'une partie [illegible] dans l'intérieur de la terre ; aussi la température [illegible] d'un [illegible] à 30m la température est tout à fait constante.

La temp. des sources est [illegible] des sources d'eaux chaudes. La temp. des [illegible] moins [illegible] la grande chaleur [illegible] La temp. de la mer est [illegible] d'un point [illegible] de la [illegible]. D'autre part [illegible] la végétation [illegible] nature de la végétation change complètement quand on s'élève dans les monts.

Pression atmosphérique

[illegible] l'eau [illegible] pression [illegible] on [illegible] jusqu'à [illegible]

jusq vers 4 h du matin et le meme remi de phenomene. Dans le soleil, je semble oscillation tout les maxima sont vers 10 h et les minima vers 4 h. Dans nos climats cette variaient souvent marquee par des varia irregulieres.

L'amplitude d'oscill. differe suivant les saisons et suivant les jours. On se forme une idee graphique concernant cette distribution. Observant dans les tableaux de la pression à la surf. du soleil, joindre les points où elles se rendent à la surf. à la de 0° et au niveau de l'air. Considerer sur la surf. de la terre tous les points où la pression est la meme et joint ces points par des lignes courbes ou des lignes isobares. Elles ont des formes souvent compliquées.

Vent

Une masse gazeuse comme une masse liq. se penche en ce qu'il le presse le moins et tend vers les points d'une plus haute.

Tilted de pression dans les deux points voisins fait un mouvement s'il y a rentre d'aucune cause autre que celle de la press. s'interpose. Il est clair que ...... deux points où la pression haute ..... où elle est basse.

Mais plus cause ..... pour dire la direc. du vent

et les eaux donnent le [illegible] [illegible] [illegible].

L'effet dans l'intérieur de [illegible] Atlantique est vers l'est, les [illegible] jusqu'au [illegible] des [illegible].

Aussi l'air amené par les vents de la région [illegible] arrive dans les couches [illegible] vers l'est et [illegible] qu'elles [illegible] l'air il est parti. Par conséquent le vent doit être dirigé vers l'ouest. Ce qu'on voit [illegible] courant, un [illegible] de l'air et celle de la terre.

Le même [illegible] d'un vent de [illegible] l'air [illegible] s'échappe [illegible] d'une [illegible] nord [illegible] courant dans l'autre hémisphère [illegible] de l'air sur le [illegible] des vents qu'on appelle [illegible].

Sur le bord de la mer le vent souffle le matin de la terre vers la mer et dans le jour de la mer vers la terre. [illegible] terre elle [illegible] la mer [illegible] que la terre s'échauffe [illegible] plus vite que [illegible] de la mer [illegible] colonnes [illegible] qu'[illegible] de la mer [illegible]

plus rapide de la terre que de la mer; alors l'air des [illegible] s'élève et l'air de la terre le remplace.
Au reste il faut ajouter les vents variables qui sont portés sur la [illegible] mer.

Vents alizés.

Sont des vents [illegible] une direction à peu près constante pendant toute l'année dans les régions intertropicales. Dans ces régions le temps moyen du jour est 7 [illegible]. Mais de [illegible] soufflent toute l'année. De plus dans cette zone [illegible] océan une étendue considérable il se produit une évaporation très sensible. Ces 2 causes diminuent le poids spécifique de l'air et hâtent l'ascension des couches inf. Ainsi à la terre [illegible] à la surface de la terre [illegible] courant d'air allant des [illegible]. Mais à cause de la rotation de la terre de l'ouest à l'est [illegible] nord est [illegible] sud est.

Les moussons [illegible] des vents réguliers qui [illegible] dans la mer des Indes et dans la mer de Chine et qui soufflent 6 mois de suite dans une direction et pendant 6 mois dans une direction opposée. Cela tient au minimum et au maximum de pression. Ainsi au [illegible] de la

m. de [illegible] de [illegible] qui de 9° d'octobre en avril et des vents courants 50 d'années [illegible].

M. [illegible] le [illegible] sur le climat et [illegible] l'effet de ces [illegible] au [illegible]

Rosée.

La présence de l'humidité dans l'air donne par les nuits claires un dépôt de gouttelettes d'eau qu'on appelle rosée. La rosée se dépose surtout sur les herbes [illegible] la surface du sol [illegible] par les feuilles [illegible] élevés. Wells a expliqué le premier la théorie de la rosée.

Par un temps clair et [illegible] le [illegible] la surface du sol [illegible] corps qui le [illegible] continue de rayonner [illegible] Mais la temp. du sol et des plantes bien au dessous de la temp. de l'air [illegible] de temp. marquée [illegible] placé à la surface du sol est quelquefois de 7 à 8° inférieure à celle marquée par un thermomètre placé suspendu à [illegible] De là il résulte que [illegible] au moment où l'air le plus froid qui [illegible] sa saturation de vapeur [illegible] d'une masse d'air [illegible]

pour le saturer. La rosée ne se produit que si le ciel est pur car les nuages empêchent le rayonnement. Il faut en outre que l'air soit calme car le vent en renouvelant contt l'air en contact avec le sol le corps avant que le temps suffisant pour l'abaisser pour qu'il y ait dépôt de rosée. Enfin la rosée ne se forme pas sur les feuilles des arbres parce que l'air aussitôt qu'il s'est refroidi à leur contact devient plus dense et tombe avant d'être arrivé à la saturation.

La rosée est d'autant plus abondante sur un corps que celui-ci a un pouvoir émissif plus grand et se refroidit davantage par rayonnement. Aussi la rosée se dépose plutôt sur le bois, la paille que sur les métaux polis.

Pour montrer que la rosée est produite par le rayonnement il suffit de voir qu'on empêche le dépôt de rosée sur un corps en le recouvrant d'un écran. La rosée se produit surtout au printemps et en automne.

Lorsque le rayonnement continue après le dépôt de rosée celle-ci se congèle et on a la gelée blanche. Quelquefois après des journées humides quand le ciel est très clair il se produit une sorte de pluie fine qu'on appelle

serein. Cela résulte de la condensation de vapeur d'eau au milieu de l'atmos.

Photographie. Daguerréotype

C'est l'art de fixer les images produites par la lumière. Dans le daguerréotype on expose ... les images des objets à plaque de cuivre argentée. L'argent a été d'abord parfaitement poli puis elle a été soumise dans une boîte spéciale à la vapeur de brome pour lui faire perdre la sensibilité ... puis on l'expose de nouveau à la vapeur d'iode.

Ces opérations doivent être faites dans une chambre obscure. Elles forment à la surface de la plaque du bromure et de l'iodure d'argent.

Cela fait on expose la plaque dans la chambre noire devant l'objet de ... à ... Le bromure et l'iodure d'Ag sont plus décomposés aux endroits les plus éclairés. Cela fait on enlève la plaque et on la pose dans la boîte dans un bain de Hg chauffé à environ 60°. Le Hg ... les particules d'iodure et bromure ... par les rayons. Cela fait on enlève la sensibilité à la plaque en passant

l'image. Pour la fixer on l'immerge dans une dissolution d'hyposulfite de NaO qui dissout l'iodure non attaqué. Il y a plus alors qu'à laver et à sécher la plaque. La daguerréotypie donne des images très fines mais ses inconvénients consistent dans le miroitement de la plaque et dans la nécessité de faire poser le modèle autant de fois qu'on fait d'épreuves.

Photographie.

Peut être faite de 2 manières : au collodion humide ou au collodion sec. La photo se fait dans 2 épreuves l'une la négative ou cliché sur verre, l'autre l'épreuve positive sur le papier.

Pour faire une épreuve négative au collodion humide on plonge dans une bain glacé et bien lavé ... l'alcool, on verse dessus du collodion qui est une dissolution de coton poudre dans un mélange d'alcool et d'éther et contenant en outre des iodures et de bromure. Le coton nitrique ... reçoit d'abord sur la surface ... et devient ... iodure. On laisse ... et tous ces ... jouent

[illegible] l'homme [illegible] sensibilise la
[illegible].

[illegible]

[illegible] verre. [illegible]

[illegible]

[illegible] fond il forme [illegible] et on expose aux rayons solaires. La lumière du jour passe à travers les parties opaques et attaque le $AgCl$ sous les parties transparentes [illegible] [illegible] Mais en passant au con- à travers les parties transp. elle noircit le $AgCl$. Les [illegible] au bout d'un temps suffisant on retire la feuille du chassis et on a l'épreuve positive. Pour rendre [illegible] sensibilité de la feuille [illegible] ~~pour faire~~ [illegible] du chlorure de $AgCl$ [illegible] plongeant [illegible] dans [illegible] [illegible] hyposulfite de soude.

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] a bonne [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] qui permettent d'[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible].

